農業部農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture

農業部農田水利署
Irrigation Agency, Ministry of Agriculture

農業部桃園區農業改良場
Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, MOA

農業部臺東區農業改良場
Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture

農業部苗栗區農業改良場
Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, MOA

農業部
花蓮區農業改良場

農業部臺中區農業改良場
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture

農業部茶及飲料作物改良場
Tea and Beverage Research Station, MOA

農業部臺南區農業改良場
TAINAN DISTRICT AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION STATION, MOA

農業部種苗改良繁殖場
TAIWAN SEED IMPROVEMENT AND PROPAGATION STATION, MOA

農業部高雄區農業改良場
Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Minstry of Agriculture

執行單位：台灣水資源與農業研究院
Taiwan Research Institute on Water Resources and Agriculture

中華民國 115 年 1 月

作物灌溉指引手冊

中華民國115年1月

農業試驗所特刊 第 253 號

TARI 1895-2025

作物灌溉指引手冊

農業部農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture

農業部農田水利署
Irrigation Agency, Ministry of Agriculture

作物灌溉指引手冊

主編：侯雅玲、李長沛、王仕賢

綱要計畫名稱：農業水資源精準管理科技決策支援體系之建構

計畫統籌單位：農業部農業試驗所
農業部農田水利署

合作編輯單位：農業部農業試驗所
農業部桃園區農業改良場
農業部苗栗區農業改良場
農業部臺中區農業改良場
農業部臺南區農業改良場
農業部高雄區農業改良場
農業部花蓮區農業改良場
農業部臺東區農業改良場
農業部茶及飲料作物改良場
農業部種苗改良繁殖場
國立臺灣大學
國立中興大學
財團法人台灣香蕉研究所
台灣水資源與農業研究院

農業部農業試驗所 編印

中華民國 一一五 年 一 月

序

受到全球暖化氣候變遷的影響，臺灣近年面臨乾旱日數持續增加、降雨季節改變與極端降雨事件頻仍發生等現象。回顧 109 年至 110 年，全臺經歷長達 300 天的百年大旱，臺灣農業水資源面臨各用水標的競用與乾旱風險之挑戰日益升高，如何提高農業用水效率，實為當務之急。

有鑑於此，於 110 年奉陳部長駿季 (時任農委會副主委) 指示成立「農業水資源精準管理科技決策支援體系之建構」四年綱要計畫 (111-114 年)，進行跨領域及跨部會、機關單位之合作，整合決策所需多元異質資料，進而提高各種水情變化的決策應變效能，以降低在氣候變遷下極端氣候所造成之供灌風險。本計畫由全臺各農業試驗改良場所共同合作，針對大宗作物與多年生作物，包含水稻及甘藷、食用玉米、硬質玉米、大豆、毛豆、高粱、落花生等雜糧類，花椰菜與甘藍等蔬菜類，以及香蕉、番石榴、芒果、柑橘、木瓜、麻豆文旦、番荔枝、設施甜瓜等果品類與茶等，希冀透過引進創新之量測儀器與作物需水量之推估模式，建立臺灣本土化之作物生長用水需求基盤，以精準掌握灌溉需求，進而提升水資源的供應與管理效率。

在過去四年裡，有賴各試驗、改良場所專家們的共同努力下，順利完成不同灌溉用水量情境之各項試驗與現地驗證。為積極推動科研成果之落地應用，編撰「作物灌溉指引手冊」，在「作物灌溉指引」章節中，為確保作物產量、品質與減少病害之前提下，提供各作物栽培之最適灌溉指引建議；在多年生作物之栽培方面，則另外增加蓄水設施容量之建議內容；此外，「最適灌溉模組」章節，則提供北、中、南、東小尺度示範區驗證適合之水旱輪作方式與推薦灌溉模組。在面對未來氣候變遷嚴峻之挑戰下，希冀本手冊可提供第一線農民在耕作的灌溉指引，並作為農糧與農業水資源政策治理之應用參考。

農業部農業試驗所

所長　　　　謹識

中華民國 一一五 年 一 月

前言

近年來氣候變遷加劇，極端天氣事件的頻率與強度顯著升高，臺灣農業水資源面臨前所未有的挑戰。民國 109 年是自民國 53 年以來，首次無颱風侵臺，各水庫集水區降雨量為歷史平均值 2-6 成，灌溉水情相當嚴峻。在農業抗旱方面，農業部、經濟部和地方政府等單位共同擬定對策，對每個灌區進行精密的科學計算，在評估縱使把所有水庫的水都拿來灌溉也不夠的灌區，就果斷宣布停灌，同時研擬照顧實耕者、提高補助金申請便利性、簡化核撥程序等作為，穩定農民生計；對於評估有機會完成灌溉的灌區，則透過各項抗旱措施，跨單位通力合作，全力供水給農民。在農業抗旱過程當中，克服諸多困難與挑戰，且突破以往單一水源的供灌方式，陸續啟動多項抗旱創新作為，包括積極利用埤塘提前蓄存雨水及周邊的溪水、抽取河川及區域排水，整田期間分組分區錯開整田期、延長整田尖峰期距，並採用乾式整田，以減少整田用水量，並由灌區埤塘積極蒐集降雨逕流，將有限水資源做最大之運用。

然而，農業水資源的調度與決策應變，時常牽涉各層級機關及管理單位資訊需求，為因應極端氣候對農業水資源調配造成的挑戰，如何有效整合跨單位、領域之異質資料，發展支援決策功能的管理架構已為重要課題，因此，農業部責成農試所統籌啟動四年期「農業水資源精準管理科技決策支援體系之建構」綱要計畫 （以下稱農業水資源綱要計畫），期以系統化方式串聯跨機關之供需水情資訊與資料應用，提升農業水資源調配決策之科技輔助與抗旱韌性。

農業水資源綱要計畫由農業試驗所統籌與農田水利署共同召集，結合各區農業改良場、中央氣象署及學研法人等協力推動，藉由更新作物栽培用水基盤資訊，優化田間作物需水量及土壤給水潛力推估量能；並增進農業氣象之水文預測精度，強化農業供灌系統之即時水情監測與未來長期農業水資源可用水量之預測，以提升聯合運用效能，建構一套涵蓋作物基盤資訊、資訊加值串聯與決策支援的農業水資源管理體系。

本手冊為農業水資源綱要計畫重要成果之一，內容彙整作物需水量資訊、土壤監測等技術基礎，轉譯為各主要作物之田間灌溉操作指引。同時簡介綱要計畫導入之各項創新技術與應用潛力，包括作物蒸發散量 (ETc) 與作物係數 (Kc) 建構、土壤水分感測、衛星遙測、作物植生指

標監測、地電阻探測與數位土壤圖資建置等，部分技術雖未直接應用於田間操作建議，但於大尺度灌溉風險評估與調度策略規劃中具輔助潛力。

期望本手冊能成為連結政策綱要、技術研發與田間實務之橋梁，協助農業部門與實務操作者共同提升農業水資源運用效率，強化臺灣農業對氣候變遷的應變韌性。

手冊目的

本手冊為「農業水資源精準管理科技決策支援體系之建構」綱要計畫 (以下稱農業水資源綱要) 之重要應用成果之一，旨在推廣農業水資源綱要計畫所建立之田間灌溉管理觀念與操作建議，並提供研究單位及農民等一線操作者參考。

手冊內容主要依據農業水資源綱要計畫蒐集與整合之作物需水量、作物生育期與性狀表現、土壤給水潛力及氣象等資料，轉化為具操作性的灌溉管理建議，涵蓋水稻、雜糧、大宗蔬菜、果樹及設施作物等多項國內重要作物，針對不同作物在各生育期之需水特性與灌溉策略加以說明。

除針對單一田區之灌溉操作提出建議外，本手冊亦簡要說明農業水資源綱要計畫內使用之創新技術、整體推動架構以及技術應用潛力，整合水氣通量觀測、土壤調查與衛星遙測推估區域蒸發散資訊，構築由點至面、跨尺度串聯的作物用水評估架構，透過導入水氣通量儀，於田間實地量測所選作物之實際蒸發散量 (ETc)，並與參考蒸發散量 (ETo) 比值推估建立符合本地氣候與土壤條件之各生育期作物係數 (Kc)，可細化旬尺度用水估算，改善過去採用全期平均水量操作的方式。此外，亦涵蓋地電阻影像、遙測作物分布判釋與植生指標監測分析等感測技術。上述技術部分為對應產出田間灌溉期距與水量建議之核心依據，部分屬於輔助性技術，於大尺度灌溉調度與農業水資源動態風險評估方面具參考潛力。

本手冊設計不僅為農業從業者提供具體可行之田間管理建議，亦可為研究人員或管理單位提供科學化之技術參考依據與基盤資料累積。透過將研究數據轉譯為實務可行操作建議，促進資料加值與科技落地應用，提升不同規模生產者之操作彈性與應變能力。

整體而言，本手冊期望藉由彙整研究成果與驗證經驗，建構一套由數據支撐、具操作彈性的灌溉管理建議模式，提供重要作物生育期合理水量配置，提升農業用水效率與灌溉調適能力。

目錄

序 I

前言 II

手冊目的 IV

第一章、引入之創新技術 1

1. 作物生育期需水量之量測與推估技術 3
2. 作物生理與水分需求監測技術應用 8
3. 作物與土壤遙測技術應用 12
4. 土壤質地與田間需水量 17
5. 地電阻影像技術於土壤含水量監測之應用 20

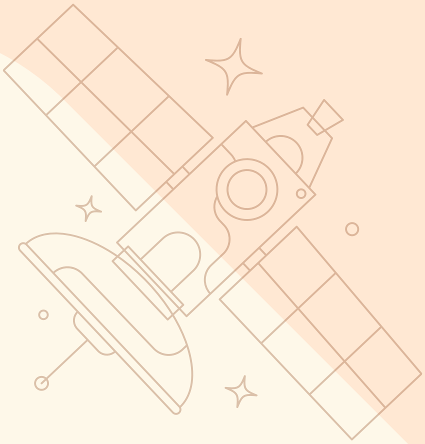
第二章、作物灌溉指引 25

1. 水稻 27
2. 甘藷 32
3. 食用玉米 36
4. 硬質玉米 40
5. 大豆 45
6. 毛豆 48
7. 高粱 51
8. 落花生 55
9. 花椰菜 59
10. 甘藍 63
11. 香蕉 (新植) 67
12. 番石榴 72
13. 芒果 77
14. 柑橘 81

15. 木瓜 88
16. 麻豆文旦 94
17. 番荔枝 98
18. 設施甜瓜 103
19. 茶 107
第三章、建議最適灌溉模組 113
1. 北部小尺度 115
2. 中部小尺度 120
3. 南部小尺度 126
4. 東部小尺度 131
專有名詞 137
作物生育期需水量 143
附錄 1 – 慣行水稻 145
附錄 2 – 間歇水稻 147
附錄 3 – 甘藷 150
附錄 4 – 食用玉米 151
附錄 5 – 硬質玉米 152
附錄 6 – 大豆 153
附錄 7 – 毛豆 156
附錄 8 – 高粱 159
附錄 9 – 落花生 160
附錄 10 – 番石榴 161
附錄 11 – 柑橘 163
附錄 12 – 茶 164
參考文獻 165

1

引入之創新技術



1. 作物生育期需水量之量測與推估技術

農業部農業試驗所作物組/侯雅玲/助理研究員

1.1 全臺大宗作物之分布與研究擇定

臺灣農業面臨水資源短缺與競用之挑戰，如何提高農業用水效率成為當務之急。為此，本計畫依據農業部農產品生產面積統計資料，選定全臺種植面積最廣的大宗作物，作為首要研究對象，作物涵蓋水稻、香蕉、番石榴等果品類、飼料/食用玉米、落花生、甘藷、大豆/毛豆等雜糧類，以及花椰菜與甘藍。旨在透過新突破觀測技術的引入，更準確地掌握作物蒸發散量，以滿足這些重點農作物的基本生長用水需求，從而提升水資源的供應與管理效率。

表一、臺灣民國 109 年大宗作物種植面積列表

類別	作物別	種植面積 (公頃)	面積排序
稻作	水稻	261,784	1
果品	香蕉	16,417	3
果品	芒果	16,314	4
果品	番石榴	7,766	9
雜糧	落花生	19,652	2
雜糧	飼料玉米	16,312	5
雜糧	食用玉米	15,807	6
雜糧	甘藷	9,717	7
雜糧	大豆	3,543	11
花果菜類	毛豆	8,185	8
花果菜類	食用番茄	3,989	10
花果菜類	青花菜	1,627	12
花果菜類	花椰菜	1,574	13

1.2 作物蒸發散量量測技術之介紹

作物蒸發散量 (Crop evapotranspiration, ETc)，即所謂作物需水量 (Consumptive use of crops)，是灌溉管理和水資源規劃中極為關鍵的參數。將作物蒸發散量之概念應用至農業灌溉可追溯至 Jensen (1968) 的研究，其報告可視為現今農業灌溉所關注的作物需水量估算之原型，由於作物蒸發散量數據在實務上不易直接量測，Jensen 在最初報告中提出由兩個變因之乘積─作物係數 (Crop coefficient, Kc) 乘以潛在蒸發量 (Potential evaporation, Eo)─來估算作物蒸發散量，成為往後研究與應用之重要基礎。現今研究人員多著重於蒐集並分析當地多年期累積的氣象與作物蒸發散量之關係，以建立符合區域代表性之作物係數 (Kc)。透過在地化 Kc 的建立，不僅能提升 ETc 估算的可行性與精準度，也能使其擴大應用範圍，減少對耗時且高設備成本量測作物蒸發散量的依賴。

作物係數的建立，仰賴於對田間實際作物蒸散量的精準測量。ETc 的測量方法眾多，如蒸發皿法、滲漏計法、土壤水分收支法、鮑溫比值法 (Bowen ratio) 等微氣象法 (甘俊二，1996；申雍，2002)。在這些方法中，微氣象學中的渦流協變法 (Eddy covariance, EC) 是目前研究蒸散量最為精確的方法之一。大氣邊界層是大氣層中最接近地表的部分，因受到地表摩擦力、輻射熱力作用等因素影響，其內部會產生不同大小的渦流 (Eddies)。這些渦流運動加速了地表與大氣之間能量與物質的交換，例如熱量、水氣或污染物的輸送。EC 法係以渦流特性之理論基礎下，進行連續、直接地測量水氣通量，精確量化作物蒸發散量。

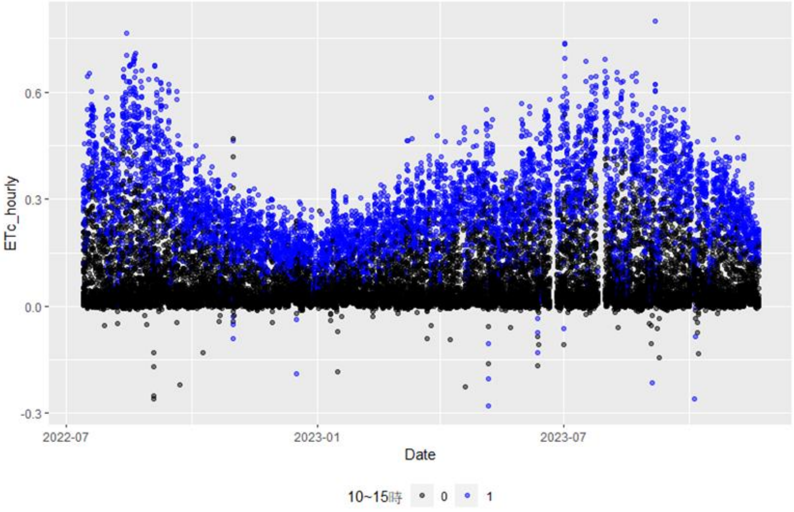
EC 法通過測量特定點的垂直傳輸速度和待測物理量波動之共變異數，來計算水氣 (vapor)、二氧化碳及熱能等垂直向上或向下之渦流通量。以蒸發散量為例，水氣通量即是垂直風速與水氣濃度兩種變數之間的同步變化 (式 1)，

$$F_{vapor} = \overline{w'q'\rho} \ldots \text{(式 1)}$$

更白話的說，量測在 0.1 秒 (極短的時間) 內在垂直方向的水氣濃度變化量，即是水氣增加或減少量，再將水氣通量 (質量) 除以水的密度即可轉換為以體積或水深為單位的蒸發散量 (ET, mm)。EC 系統需要有精密之儀器設備與資料運算處理能力相輔相承，包含三維超音波風速儀、

水氣、二氧化碳或甲烷紅外氣體分析儀 (圖一) 及溫度感測器，同步以取樣頻率為 10 Hz 以上高頻偵測風速與氣體濃度，方能捕捉不同渦流尺度下能量與物質的微小波動變化。EC 法之特點為能夠進行長期、連續且非破壞性的定點觀測通量 (圖二)，可應用於不同生態系統中之淨生態系統交換 (Net Ecosystem Exchange, NEE)、蒸發散量量測、溫室氣體排放監測、大尺度之水循環等研究領域。

圖一、三維超音波風速儀與開路式氣體分析儀。

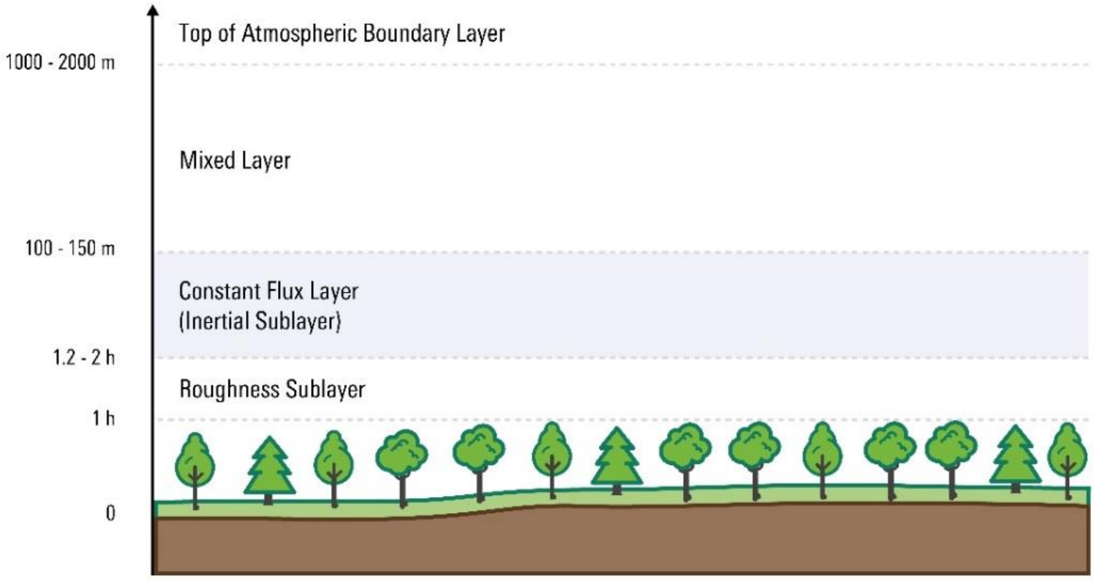


圖二、利用 EC 法進行長期、連續之定點蒸發散量觀測 (以番石榴作物為例)。

基於渦流 (Eddies) 之運動原理，通量量測場域設置需考量之相關因素包含：

1. 通量塔架設高度：

通量塔理想的設置高度是在常/恆量通量層 (Constant flux layer)，也稱作慣性子層 (Inertial sublayer) 中 (圖三)，其位於粗糙子層 (Roughness sublayer) 上方，受地面粗糙度影響相對較小，此區域的渦流垂直通量充分發展且穩定，大致保持不變。恆量通量層底部高度約為冠層高度之 1.66-2.16 倍 (Moureaux *et al.*, 2012)。以冠層高度為 0.5 m 為例，理想上量測儀器設置高度應設於土表 0.83-1.08 m 高，經驗上儀器設置高度應至少是冠層高度的 2 倍 (圖三)。當儀器高度設置太低，易受到粗糙子層的影響，且可能無法量測到小尺度的渦流通量，並造成量測範圍太小而不具有代表性。



圖三、大氣邊界層的結構與分層示意圖 (Burba, 2022)。h 為株高高度。

2. 通量足跡 (flux footprint) 範圍：

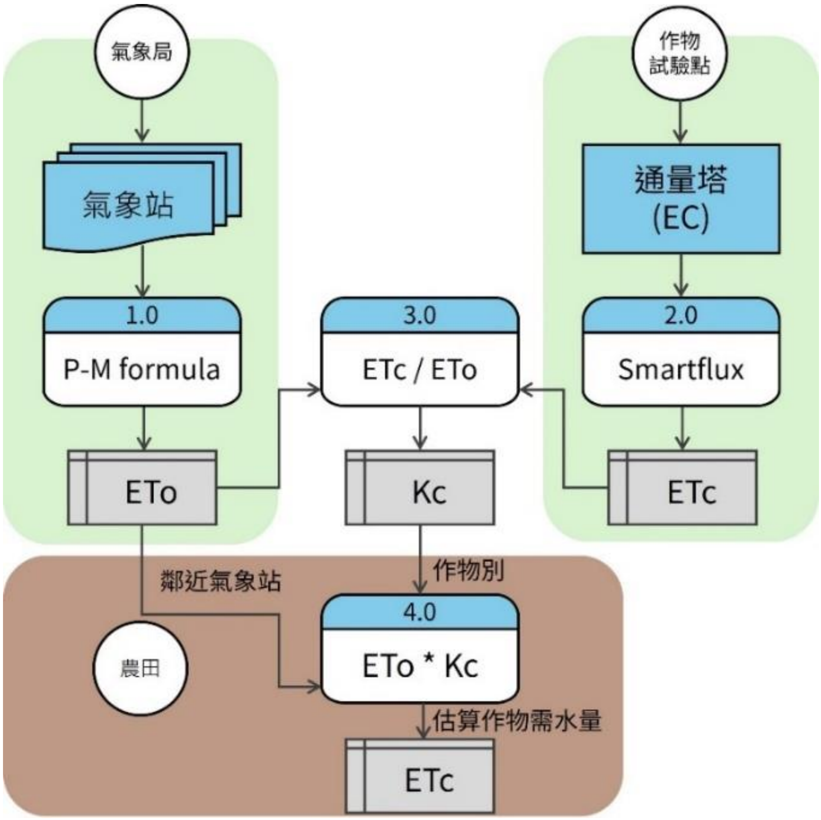
通量足跡概念可以理解為，通量塔所能偵測、捕捉到通量的空間範圍，足跡到儀器的直線距離稱為吹風距離 (fetch)。通量足跡受到量測高度、地表粗糙度、大氣穩定性之影響。當量測高度高、地表粗糙度低 (冠層高度低)、大氣穩定性高時，通量足跡範圍廣；反之，當量測高度降低、地表粗糙度提高及大氣穩定性降低時，通量足跡縮小，所偵測到的主要貢獻量 (占比高) 通量較靠近儀器周圍 (Burba, 2022)。正確規劃和設置通量塔，才能確保

測量到的通量確實代表目標區域的通量交換。EC 數據品質很大程度取決於環境條件，因此通量塔量測試驗場域大小有一定要求，需滿足觀測範圍到通量塔達一定足夠的吹風距離，使湍流氣團能夠充分發展 (Allen *et al.*, 2011)。

1.3 作物需水量估算方法

參考蒸發散量 (Reference evapotranspiration, ETo) 是依據「假定參考作物」表面的蒸發散量，由 Penman-Monteith 公式計算而來，藉此建立一個全球通用的氣象影響基準 (Allen *et al.*, 1998)。ETo 數值與作物無關，僅由經緯度、海拔、氣溫、風速和日照時數等氣象參數決定，是評估大氣環境對水分蒸發影響力的科學標準。

作物係數是評估作物耗水特性之指標，Kc 數值依不同作物項或作物不同生育階段的需水需求而異，可由實際作物蒸發散量 (ETc) 與參考蒸發散量 (ETo) 之比值來建立。作物係數建立後即可配合各地天氣數據 (ETo)，即可快速估算出作物需水量 (圖四)，而毋須每次都進行昂貴耗時的現場量測。



圖四、作物係數建立與作物需水量估算流程示意圖。1.0-4.0 分別代表不同數據處理流程。

2. 作物生理與水分需求監測技術應用

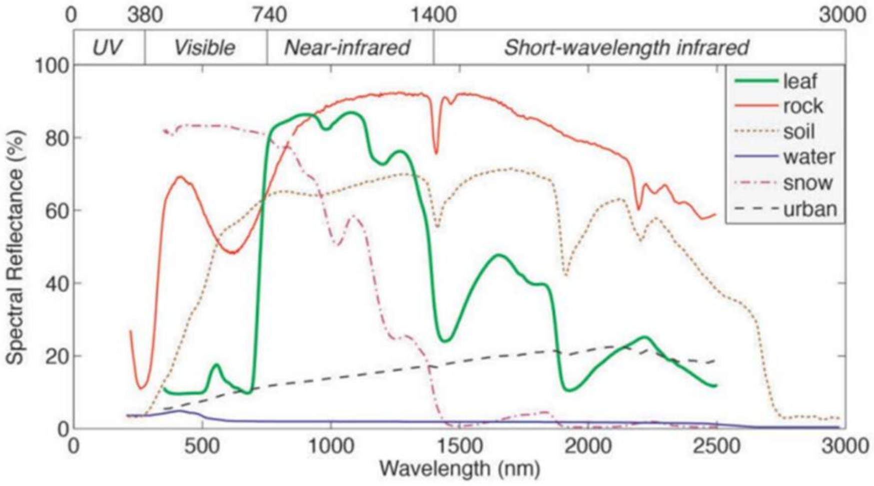
農業部農業試驗所/侯雅玲/助理研究員
國立臺灣大學農藝學系/林香君/助理教授

2.1 作物生理監測技術簡介

本節將從 3 個面向簡要概述作物生理監測技術，包含 (1) 缺水逆境下作物的生理反應；(2) 非破壞性的感測類別；(3) 多旋翼無人機載具平台的特點。

作物健康管理與監測攸關作物生長、產量與品質表現。當土壤中水分不足以供應生理發育所需，作物遭遇乾旱逆境時在生理生化及形態層次都會發生改變，在生理層次上，離層酸 (Abscisic acid, ABA) 及抗氧化酵素濃度上升、氣孔關閉，降低葉片膨脹速率、葉片含水量、氣孔導度與蒸散速率，使葉片溫度升高，並影響葉綠素含量與穩定性，導致水分吸收與同化效率下降。這些生理反應是作物對缺水環境快速且敏感的調節機制。在形態層面，水分不足會使葉片捲曲、葉面積、葉片壽命與乾重明顯下降，同時株高與根系發育也受抑制、提早衰老，整體生長潛力受限。

透過監測作物的生理反應與逆境訊號，我們能掌握其確切的用水需求，做出更合理的灌溉決策。偵測乾旱反應的表現特徵方法，可依據感測器的類型分為 3 類，包含 (1) 熱紅外線感測 (Thermal sensing)，透過監測冠層溫度與蒸散作用間的關聯來反映水分狀態；(2) 光譜感測 (Spectral sensing)，因為葉片反射光譜特徵直接受其葉綠素、葉黃素、水分含量、內部結構等影響，藉由反射光譜特徵差異可以反映葉片含水量與光合活性等狀態之變化。0.4-2.5 μm 之反射光譜訊號 (圖一) 可透過可見光、多光譜 (Multispectral) 或高光譜 (Hyperspectral) 相機偵測，常見的植生指數 (Vegetation Indices, VIs) 多基於不同波段的反射率組合而得；(3) 太陽誘導葉綠素螢光 (sun-induced fluorescence, SIF)，直接指標化光合作用效率與能量利用狀態，但受限於設備昂貴與資料處理挑戰。這些方法隨著不同研究對象、目標、環境條件，適用性也不同。反射光譜感測器可跨多種平台尺度，捕捉不同波段資訊，分析面向廣泛，且適合數位化處理分析，應用上最為普及。



圖一、不同物質表面的反射光譜 (Gaju *et al.*, 2023)。

感測器需結合觀測載具與技術平台來蒐集外表型數據資料，平台包括手持式感測、地面 (Ground-based)、溫室環控平台 (Indoor/controlled)、空中平台 (Aerial)、衛星平台 (Satellite)，不同層級之平台皆有其定位與限制。多旋翼無人機 (multi-rotor UAV) 兼具直升機的懸停、低空飛行特點，以及低成本、操作簡易、機動性高不受雲層限制，以及高時空解析度的優勢。相較於地面平台之限制，可在單次飛行中取得大面積田區的同步數據，避免拍攝時間不同所造成的誤差，提升效率與一致性 (Gago *et al.*, 2015, Ihuoma & Madramootoo, 2017)。

2.2 植生指數於作物水分需求監測之應用

近年來，臺灣的氣候變化越來越明顯，乾旱持續的日數增加，雨季的來臨時間也有所改變。對農民來說，最大的挑戰就是如何在有限的水資源下，依然維持作物的健康與產量。傳統上，農民常依靠經驗來判斷作物是否缺水，例如觀察葉片顏色、觸摸土壤濕度，或等到作物明顯乾枯才採取行動，但往往為時已晚。

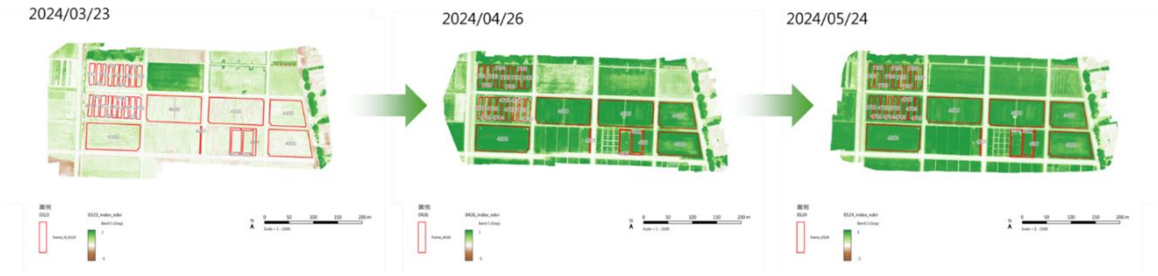
在這項研究中，我們利用搭載多光譜相機的多旋翼無人機，從空中監測作物的生長狀態。我們提出的問題很簡單：能不能透過影像快速判斷作物是否缺水？如果可以，農民就能依照科學數據來決定澆水，而不必憑經驗猜測，既能節省水資源，也能確保收成。

所謂「植生指數」，就是透過葉片的反射光來了解植物的健康狀況。最常用的一種是 NDVI (歸一化植生指數)，它利用植物在紅光與近紅外光波段的反射差異來判斷綠色程度。簡單來說，

葉片越翠綠，NDVI 值就越高；反之，如果葉片乾枯或缺水，NDVI 值就會下降。這些數字好比植物的「體檢報告」。過去要取得這些數據，需要用儀器逐株測量，非常耗時費力。現在透過無人機，只需短短幾分鐘，就能一次掃描整片田區，蒐集成千上萬株植物的健康資訊，效率遠勝傳統方法。

我們將這項技術應用到水稻田的實驗中 (圖二)，結果顯示節水栽培的水稻依然能長得很好。在兩期作的試驗裡，我們設置了 3 種灌溉方式：傳統的「田裡一直有水」、飽水供應，以及「間歇性乾濕」(AWD)。許多人擔心少澆水會影響水稻生長，但無人機拍攝的 NDVI 曲線顯示，節水處理的水稻與慣行栽培一樣綠意盎然。為了驗證結果，我們也測量了氣體交換速率、蒸散速率與葉綠素含量，3 種灌溉方式間幾乎沒有差異。

這表示無人機 NDVI 的結果和傳統生理調查高度一致，證明水稻其實相當能適應節水管理。農民不必擔心「不泡田」會減產，反而能在不影響收成的情況下節省大量水資源。對臺灣這樣的水稻主要產區而言，這是一項兼顧糧食安全與水資源管理的雙贏策略。



圖二、無人機影像分析作物生長變化於 113 (2024) 年 3 月 23 日，4 月 26 日及 5 月 24 日。

玉米的反應則較為敏感，尤其在幼苗期。我們發現，如果在玉米初期就遇到缺水，植株光合作用會下降，NDVI 值也明顯降低，之後的生長勢較弱。但當玉米進入中後期後，缺水的影響就不再那麼嚴重。換句話說，玉米小時候需要好好照顧，長大後就比較耐旱。這樣的結果對農民非常有幫助：只要在玉米初期確保水分充足，後期就可以採取較節省的灌溉方式，而不會大幅影響產量。透過無人機對 NDVI 的早期監測，農民能及時掌握缺水狀況，並快速調整澆水策略。

在香蕉的試驗中，我們依照不同需水量比例進行灌溉，觀察 NDVI 的變化。結果發現，在幼苗期，NDVI 與澆水量之間沒有明顯關聯，可能受到降雨影響，或因幼苗本身對水分需求較低。這提醒我們，香蕉的缺水診斷最好在植株長大後進行，並且需要搭配土壤水分的監測。未來若能結合無人機的熱成像與地面感測器，將能更精準掌握香蕉的需水狀況。

綜合這些發現，可以看出不同作物的特性。水稻在節水灌溉下依然保持健康，適合推廣節水管理；玉米在幼苗期需要充足水分，後期則相對耐旱，適合分階段灌溉；香蕉在幼苗期對水分反應不明顯，需要在較大植株階段並結合土壤監測來判斷。這些成果顯示，無人機搭配植生指標，確實能幫助農民快速掌握大面積農田的缺水狀況，並提供更精準的灌溉依據。如果未來能再結合人工智慧與自動化系統，農業甚至可能實現「作物自己告訴你什麼時候要水」的夢想。

植生指標監測技術就像是作物的健康手環，能隨時回報它們的狀態。透過這樣的轉變，農民不再需要等到作物出現乾枯症狀才補救，而是能提前預警、及時調整。是農業邁向智慧化與永續化的重要一步。當農民能依靠科學數據澆水，就能把有限的水資源用在最需要的地方，讓資源有效運用並維持作物健康生長。

3. 作物與土壤遙測技術應用

農業部農業試驗所農業化學組/張翊庭/副研究員

3.1 遙測技術方法簡介

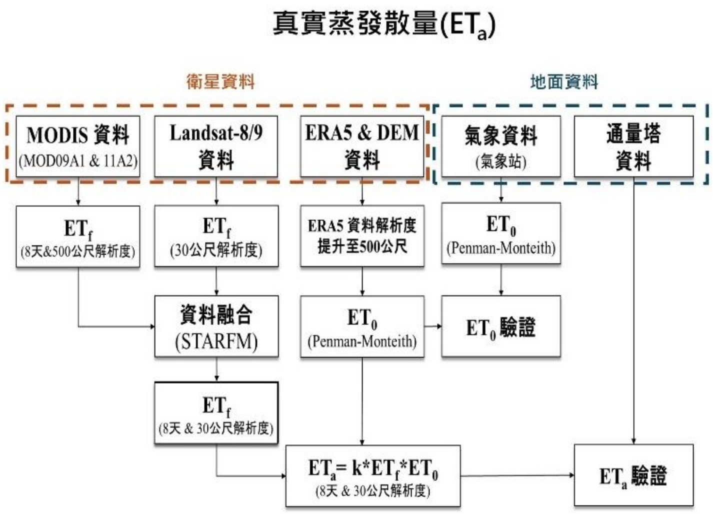
為使有限水資源得以有效利用，水文循環中各環節之估算是掌握水資源可利用量的重要工作。在農業水資源估算中，除了土壤入滲外，蒸發散量佔有相當的比例，不僅為農業用水規劃利用之重要參數，更是灌溉營運管理之依據。傳統在蒸發散量推估上，大部分以固定氣象站之蒸發皿量測結果或是利用相關經驗公式推估結果，雖然能估算區域的概似量，卻無法兼顧到研究區內地表現象的差異性。為能夠提供快速且大尺度之農業用水資訊，本研究以衛星影像進行區域性蒸發散推估模型建立，嗣後使用現地調查與通量資料進行精度評估與模型校正，配合主要農業區灌區大宗作物分布圖資，便可兼顧不同地表環境，討論不同區域灌溉水利用、主要作物需水量之重要議題，且透過長時間、連續的表土利用與蒸發散量資料累積，未來也可作為預防性農業用水資源調配需水/蓄水之參考資訊。

(一) 大宗作物分布判釋：

研究區域以桃園管理處灌區、臺中管理處灌區、嘉南管理處灌區和臺東管理處灌區為主。計畫應用遙測技術、地理資訊等技術，以歐洲哥白尼計畫的多光譜衛星 (Sentinel-2)、美國大地衛星 (Landsat-8)、航照正射影像及 UAV 影像等影像為材料，依據作物生長特性及影像性徵 (紋理、色調和幾何等) 進行上述 4 大灌區裡作、1 期作、2 期作、全年作、多年作作物判釋，並與農田現況取樣調查資料進行驗證比對。

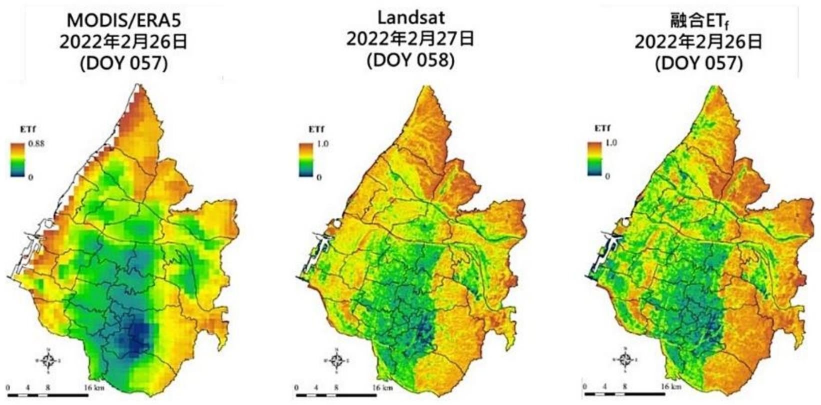
(二) 區域蒸發散推估：

計畫建立衛星估算地表真實蒸發散量模型，並進行研究區域的真實蒸發散量 (actual evapotranspiration, ET_a) 估算，使用 Senay (2016) 所提出的 SSEBop (Operational Simplified Surface Energy Balance) 模型 (圖一)。



圖一、真實蒸發散計算與參考蒸發散驗證方法流程。

透過中解析度成像分光輻射計 (MODIS) 衛星與 Landsat 衛星資料計算出蒸發散分率 (evapotranspiration fraction, ET_f)，而後乘上參考蒸發散係數 (k) 與歐洲中期天氣預報中心第五代再分析資料 (ERA5) 衛星氣象資料計算的參考蒸發散量 (reference evapotranspiration, ETo)。其中為配合臺灣精準農業的需求，取得高時間解析及高空間解析影像，將使用時空自適應反射融合模型 (spatial and temporal adaptive reflectivity fusion model, STARFM) 影像融合方法 (Zhu *et al.*, 2010) 生成 ET_f 時序資料，此方法為採用同一時間 (或相近時間) 的低時間解析但高空間解析影像 (Landsat 衛星影像) 計算 ET_f，與高時間解析但低空間解析影像 (MODIS 衛星影像) 計算的 ET_f 作為使用資料，融合產製另一時間點的高時間解析與高空間解析度影像 (圖二)，最終可獲得研究區域的 30 m 空間解析度，每 8 日週期性的 ET_a 成果分布圖。

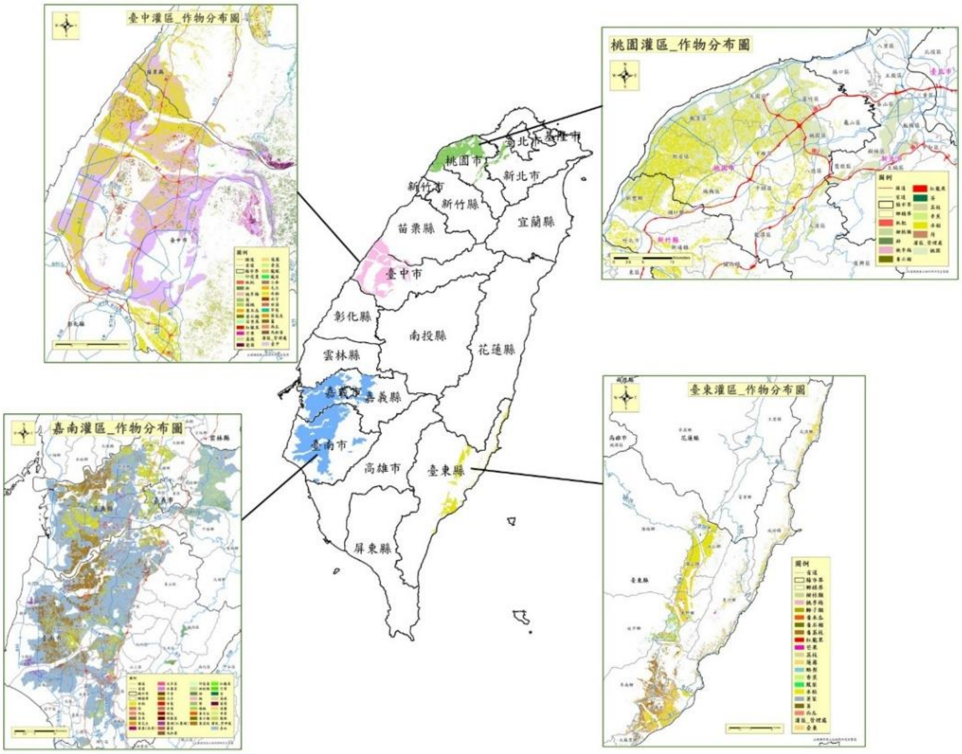


圖二、同一時間 (或相近時間) STARFM 影像融合 ET_f 成果示意圖。

3.2 大宗作物分布判釋應用

計畫完成多年桃園、臺中、嘉南、臺東 4 個灌區主要作物栽植分布判釋，其中短期作物栽植分布以主要產區為主，長期作物及果樹更新為桃園復興、新竹 (寶山、峨眉、橫山、新埔、竹東、關西)、苗栗 (大湖、卓蘭)、臺中 (東勢、石岡、豐原、新社)、嘉義 (大林、梅山、番路、中埔、竹崎)、臺東 (東河) 等地區。作物種類包含：水稻、玉米、甘藷、大豆、花椰菜、番石榴及香蕉外，還有大芥菜、水芋、水蕹菜、牛蒡、甘藍、胡蘿蔔、胡麻、草莓、馬鈴薯、甜瓜、荷、蘿蔔、柑桔類、印度棗、芒果、枇杷、柿、桃李梅、紅龍果、荔枝、梨、番木瓜、番荔枝、椰子、楊桃、葡萄、酪梨、蓮霧、龍眼、鳳梨等 (圖三)。

上述作物分布圖資經農田現況取樣調查資料進行驗證，總體精度約為 90.2-99.82%，KAPPA 值為 0.75-0.98，除了能提供作物分布圖資給農情、學術單位作為相關作物與生態之研究、規劃與應用，在本計畫中也能結合蒸發散資訊，討論各作物與地區之水資源利用效率，並針對利用效率低之作物種植區域改善其水資源調度方針。

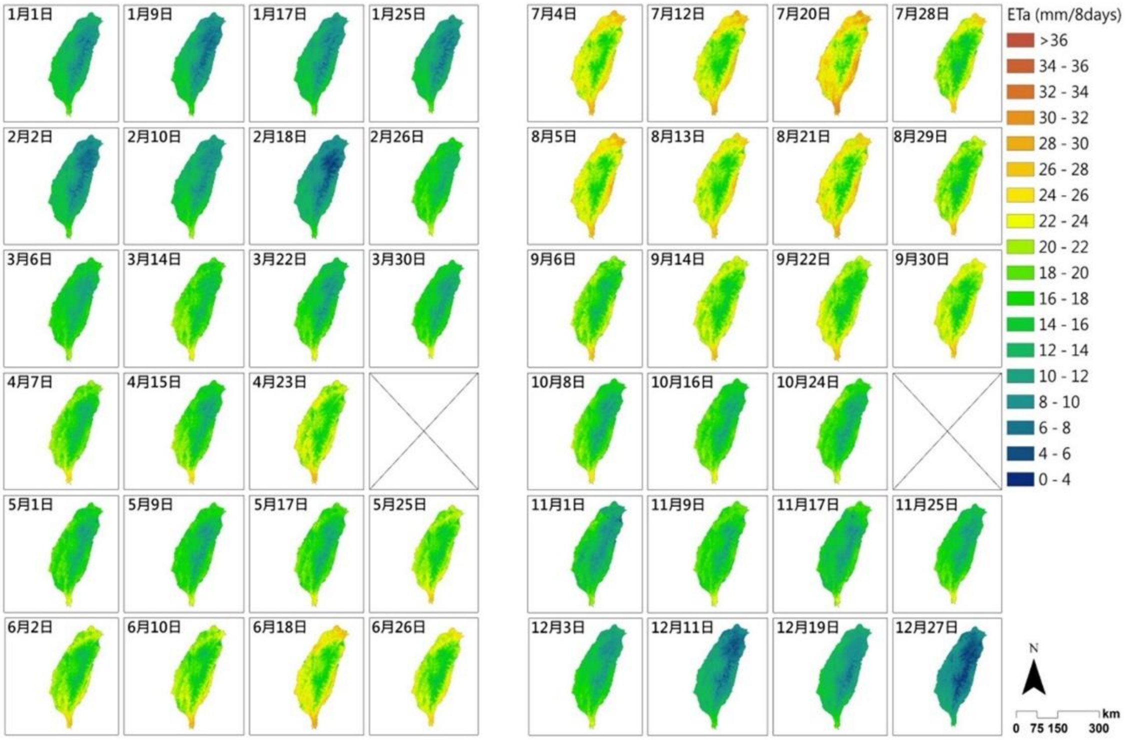


圖三、4 個主要灌區作物判釋分布示意圖。

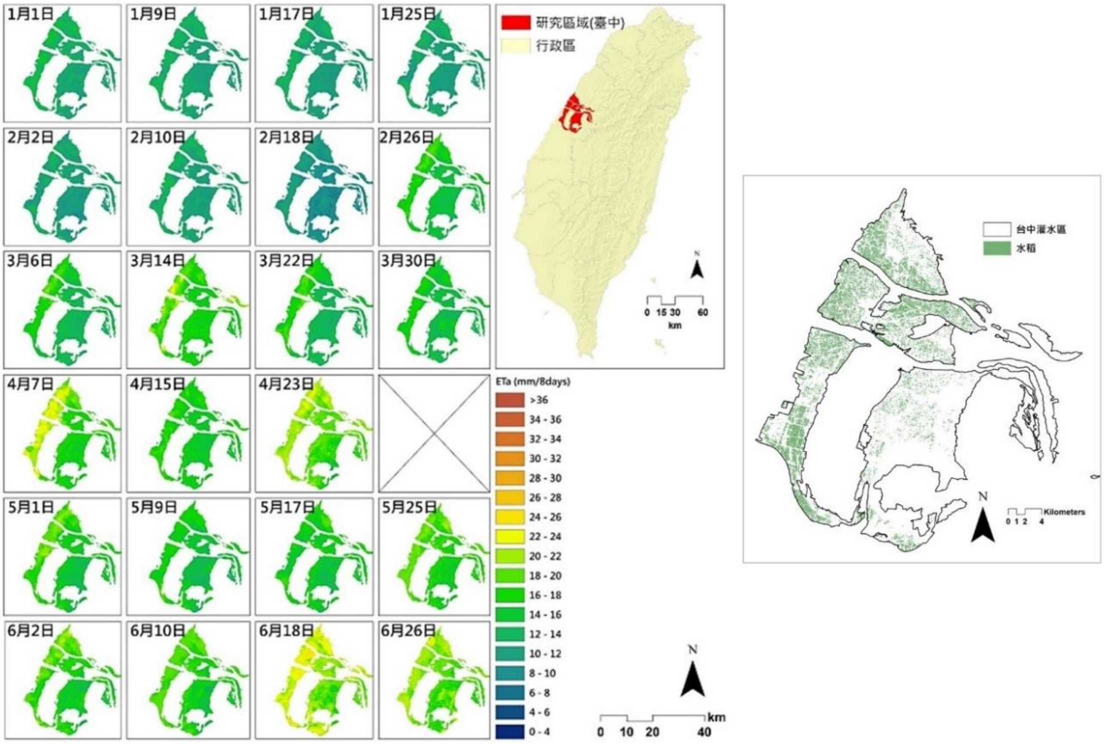
3.3 區域蒸發散推估應用

本計畫目前已累積自 111 年起之臺灣本島衛星估算真實蒸發散量 (ET_a) 成果，並以位在臺中、高雄、彰化、屏東 4 座通量塔進行 ET_a 資料驗證，其相關係數約落在 0.58-0.77，顯示此模型具一定信賴度。以 111 年資料為例進行觀察 (圖四)，在時間分布的概觀變化，蒸發散量隨著冬季、春季至夏季漸增，並於秋季開始遞減至冬季。空間分布則以西部平原區以及東部花東縱谷平原為高，其次為西北部丘陵台地區，山區則相對為低。

此外，聚焦於農業使用土地範圍，對照本計畫提供之 111 年的臺中灌區水稻種植空間分布以及同年臺灣地區稻作生育情形旬報等資料，1 月為研究區水稻育苗整地階段、2-3 月為插秧階段、4 月進入分蘖期與抽穗、5 月為黃熟期與乳熟期，6 月則進入收穫，而農田的 ET_a 自 1 月起隨著時間與生物量上升而增加，至 6 月中達到高峰，並隨著完成收穫而降低，與水稻生長週期具有一致性 (圖五)。由上述成果可得知，蒸發散量模型可做為農田利用水循環中蒸發散損失之評估依據，建立臺灣各農業區域週期性蒸發散量變化之資料庫。



圖四、臺灣本島 111 年 1 月至 12 月每 8 日之真實蒸發散成果分布圖。



圖五、臺中灌區 111 年 1-6 月真實蒸發散成果，與同年度 1 期作水稻種植分布。

在極端氣候影響之下，勢必得快速獲取大尺度水資源調度參考資訊，才能降低災損，本計畫透過衛星影像融合技術建立了更短時間且高解析度的影像資料來源，並建立真實蒸發散量 (ET_a) 估算模型，配合農地利用資訊，可迅速提供各區域作物供需水資訊，同時也可透過長時間累積之資料，提供研究相關資訊，以期達到預防性水資源供需調整之依據。

4. 土壤質地與田間需水量

農業部農業試驗所農業化學組/許健輝/副研究員

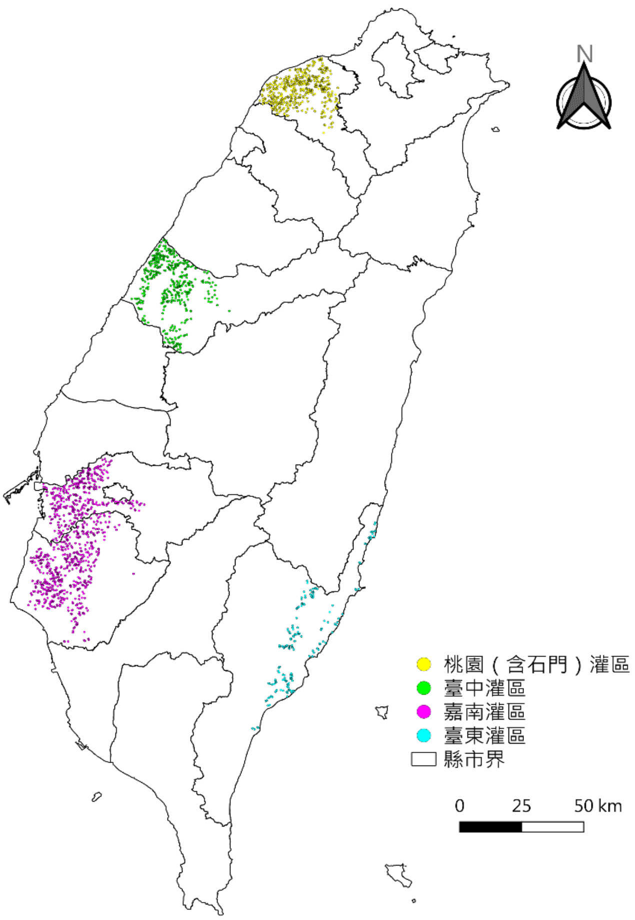
4.1 全臺土壤特性簡介

農田水利管理單位估算農田灌水量主要考量作物需水量及土壤水力特性 (最常見的為質地)，相較於地表蒸發散量，在旱作區域土壤水的滲漏及保水特性決定大部分的農田灌水量。然而，過去國內較缺乏大尺度之土壤水力特性圖資 (例如土壤有效水含量及導水度等)，若要使用現有調查資料進行面化，資料尚顯不足。農業試驗所於 97-109 年執行「土壤資源資訊建置計畫」，於全臺平地、坡地及山區土壤調查之樣本進行化學及物理性分析，土壤化學分析項目包括土壤酸鹼度、有機質含量、電導度、陽離子交換容量及萃取性陽離子濃度等，土壤物理分析項目包括土壤質地、飽和導水度、總體密度、水分特性曲線、團粒穩定度等，由於該計畫目的為建立全國性的土壤資源資料庫，重要之土壤水力特性之樣本採集不易 (如導水度) 及分析費時 (如水分特性曲線及有效性水分含量)，導致數據產製速度受限。對於變異程度大的土壤物理性質，若要用於灌區精準配水，除了須提高其採樣密度並且搭配空間預測模式之建立，方能加速提供具區域代表性之土壤水力特性資訊。

4.2 土壤水力參數、數位土壤繪圖

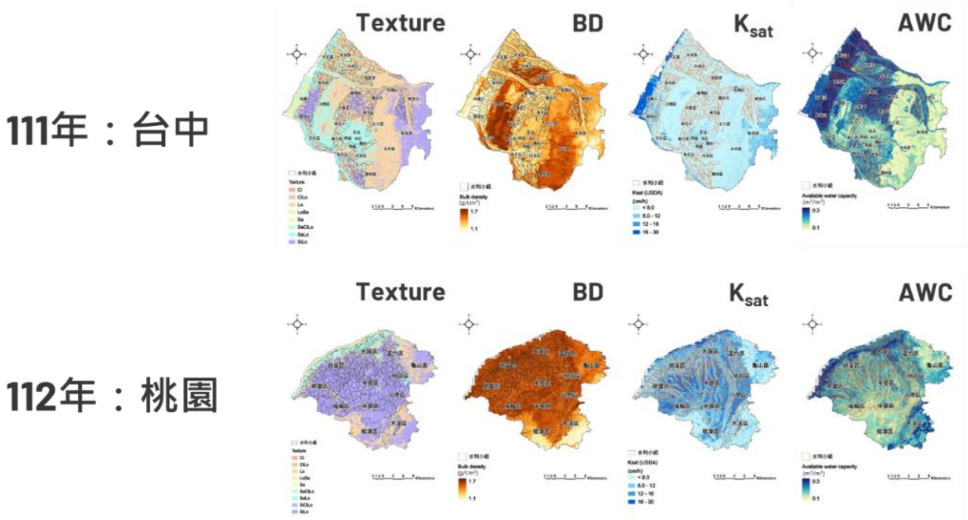
土壤水力 (物理) 特性無論在水平及垂直方向皆有相當大的變異，加上部分土壤物理性質 (如水分特性曲線) 分析時間長，因此，亟需利用科學化的方法來設計調查規劃，並且建立不同性質間的轉換方程式，以及發展有代表性的繪圖方法，以加速土壤水力性質圖資之產製。

本計畫於 111-114 年度分別於農田水利署臺中、桃園 (含石門)、嘉南、臺東管理處灌區進行土壤基礎水力調查 (圖一)，調查目標為每年度 8,000 公頃以上。為能使本計畫土壤調查數據符合農水單位應用，調查樣區最小單位設定為水利小組，首先排除過去已進行土壤調查之區域，剩下未調查之水利小組依據範圍內土系分布及作物栽種狀況採集 1-2 個樣點。此外，若過去曾調查之水利小組，但樣點位於該小組土系面積占比低之區域，亦會於該小組內挑選土系面積占比高的範圍進行調查。



圖一、本計畫 111-114 年土壤水力調查樣點分布圖。

數位土壤繪圖 (Digital Soil Mapping, DSM) 是根據土壤觀測資料搭配與其相關的土壤生成因子 (母質、氣候、時間、植生、地形等)，透過不同統計方法或機器/深度學習演算法建立的預測模型，進而預測未採樣區域土壤性質的方法，產製特性區域之空間分布圖。近 10 年，該技術已於全球不同區域/國家廣泛被使用，主要目的在於如何利用有限的資料來合理預測土壤性質的空間分布。以本計畫為例，4 個土壤水力參數 (土壤質地、有效水容量、總體密度及飽和導水度) 是土壤觀測資料，選用的預測參數包括年均溫、年總雨量、海拔、坡度、坡向、土類、植生指數等，利用機器學習 (如隨機森林、決策樹、Cubist) 來建立土壤水力參數的空間預測模式，進而預測未採樣區域 4 種土壤水力參數的空間分布。本計畫分別產製臺中、桃園 (含石門) 管理處灌區之表層土壤質地、總體密度、有效水容量及飽和導水度空間分布圖 (圖二)，建置我國主要農業區水力參數基礎圖資，進而精準估算區域灌溉用水量，提高農業水資源應用效率。



圖二、臺中及桃園灌區土壤基礎水力參數分布圖。

4.3 田間需水量推估方法與模式建立

本綱要計畫施政分項一 (建構作物需水量及土壤給水能力基盤之研究) 於 111-114 年度建置 7 種以上主要及栽種面積廣之作物需水量資料 (作物重要生育時期蒸發散量與作物係數)，包括水稻、玉米、大豆、甘藷等作物；同時，針對國內 4 處主要農業區 (臺中、桃園、嘉南及臺東灌區) 進行土壤水力特性調查，建立土壤質地、總體密度、飽和導水度、有效水分含量等土壤水力參數蒐集。本計畫規劃利用聯合國糧食及農業組織 (FAO) 發展之 CROPWAT 8.0 軟體輸入上述本綱要計畫建置之基盤資料，計算田間需水量及設計灌溉規劃，並結合地理資訊系統 (GIS)，提供不同空間及時間尺度之田間需水量資訊。田間需水量估算模組架構如圖三。

圖三、田間需水量估算模組架構圖。

5. 地電阻影像技術於土壤含水量監測之應用

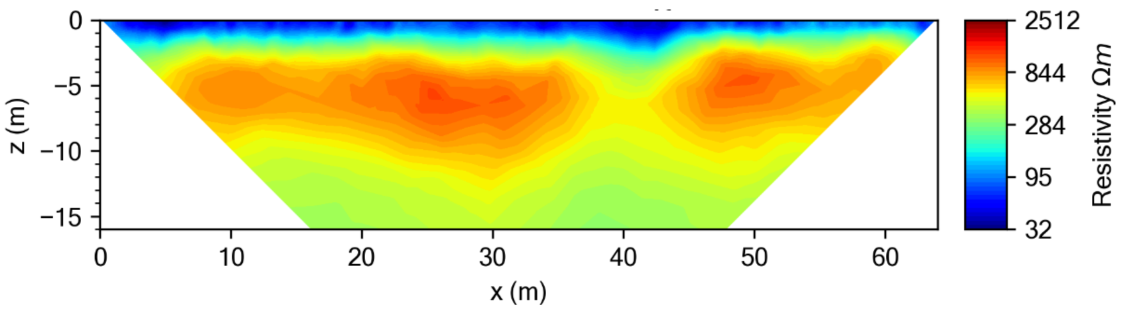
農業部農業試驗所農業化學組/劉滄棽/研究員兼組長

5.1 地電阻影像 (ERT) 與自然電位 (SP) 觀測技術簡介

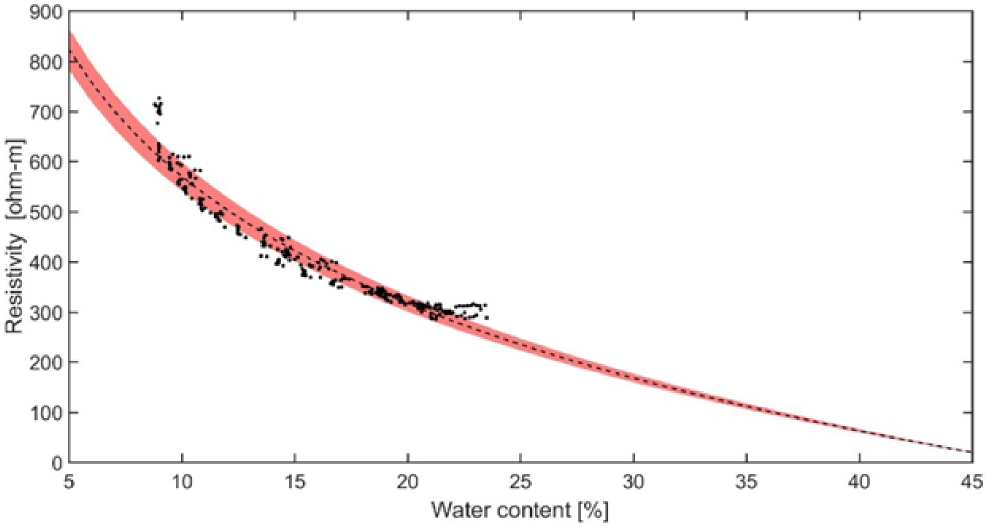
地電阻層析成像技術 (Electrical Resistivity Tomography, ERT) 是一種非破壞性的地球物理探勘方法，透過在地表佈設電極，施加電流並量測電位差，反演獲得地下不同深度與位置的電阻率分佈。該技術可解析數公尺至數十公尺深度範圍的地下電性結構，並以二維或三維影像的方式呈現面狀的資訊 (圖一)。相較於傳統僅能在單點安裝感測器的土壤監測方式，ERT 監測能提供大範圍、連續性的空間分佈資訊，顯著提升監測效能與解析度。

由於土壤電阻率與含水量之間通常存在反比關係 (Mazác *et al.*, 1985; Samouëlian *et al.*, 2005; Bery and Ismail, 2018; Kurtuluşa *et al.*, 2019)，因此 ERT 可用於推估區域尺度的土壤含水量變化 (Luo *et al.*, 2019; Vanella *et al.*, 2021; Rieder and Kneisel, 2023)。實務上，透過現地同步量測土壤含水量與地電阻率，可以建立兩者的經驗關係曲線 (圖二)，進而將電阻率影像轉換為含水量的空間分佈。

自然電位 (Self Potential, SP) 觀測技術則是一種被動式量測方法，主要量測地表不同位置間的自然電位差。其訊號來源與地下水流動、礦化作用以及地球化學反應等相關。在農業及水文應用中，SP 主要受地層滲透性與地下水流動勢影響。透過長期監測自然電位變化，可推估地下水在田間的流速與流向，進而輔助判斷灌溉水或降雨在土壤中的運移路徑，與 ERT 所提供的含水量分佈資訊形成互補。



圖一、利用 ERT 反演獲得的地下電阻率剖面圖，顯示淺層至約 15 m 深度的電阻率空間分佈。



圖二、現地量測所得的土壤電阻率與含水量關係曲線，紅色區域為回歸模型的不確定範圍。

5.2 土壤含水量、地溫及張力自動監測技術建立

為掌握農田水文條件及其時空變化，有必要建立農田尺度的水文監測資料庫，並與其他地球物理與環境監測技術結合，形成多元觀測系統。此系統不僅可提升 ERT 在水文研究中的應用，也能用於土壤參數獲取與灌溉管理等多元目的。為此，於現地測線上設置具自記功能的觀測站，長期監測土壤含水量、地溫及土壤張力等關鍵水文因子，確保資料具連續性與代表性，並為後續的水文分析提供基礎資料。

(1) 土壤含水量監測：

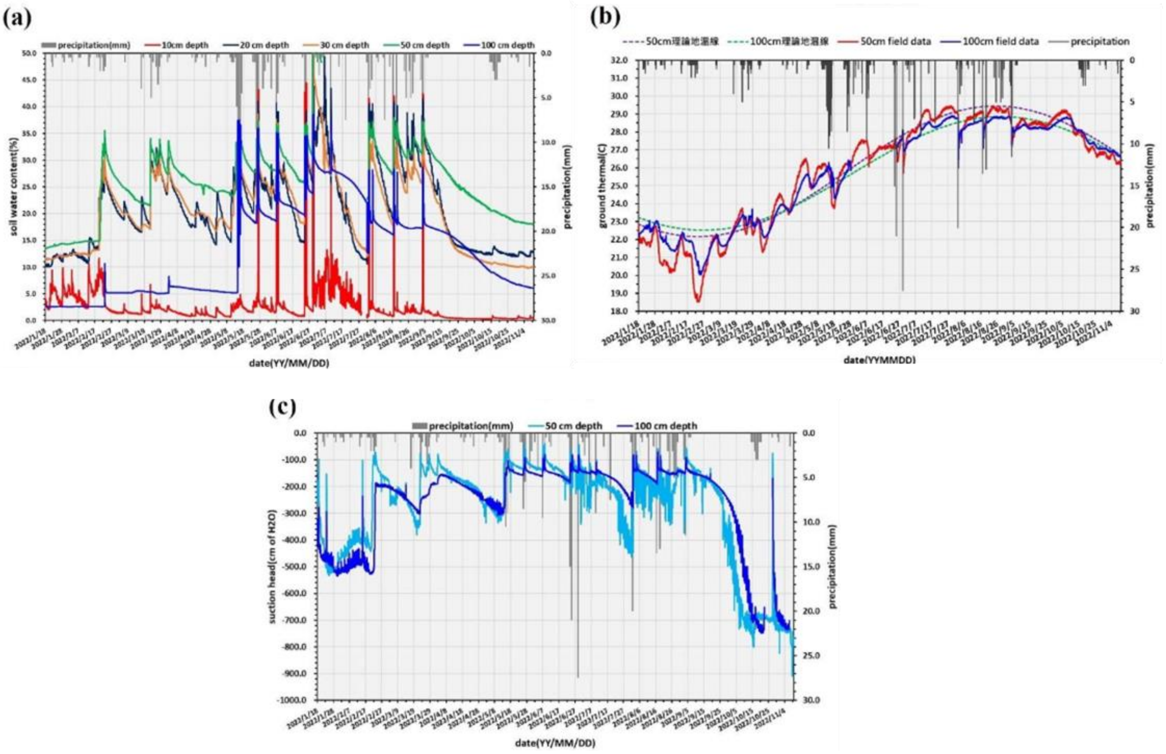
土壤含水量感測系統可在多個深度 (如 10、20、30、50 與 100 cm) 同時量測，並以高精度 (± 0.003% Vol.) 記錄地表下不同層位的含水量變化。感測器適用於 -20℃ 至 +75℃ 的操作環境，適合農田四季觀測。監測結果會與降水及灌溉紀錄比對，以分析不同深度含水量的補注與消耗特性 (圖三 (a))。透過此資料可評估降雨與灌溉對淺層與深層水分動態的影響，並為 ERT 所反映的電阻率變化提供實地驗證依據。

(2) 地溫監測：

地溫感測器量測範圍介於 -50℃ 至 +70℃，可在 -50℃ 至 +100℃ 的環境中工作，精度達 ± 0.2°C (0-70°C)。觀測深度通常設定於 50 cm 與 100 cm，以減少短期氣溫波動對數據的影響。藉由分析 1 個水文年的地溫變化曲線，可反推土壤的熱擴散係數，進一步了解土壤的導熱特性(圖三 (b))。此外，將實測曲線與理論地溫曲線進行比較，可檢驗模型假設與現地熱傳特性的一致性。

(3) 土壤張力監測：

土壤張力計由多孔陶瓷杯、塑膠管及真空壓力計組成，並配備電流轉換器以便自動化數據記錄。張力數據可反映土壤對水分的吸力大小，與含水量呈非線性關係。藉由分析張力與含水量的對應關係 (圖三 (c))，可用於推估保水曲線 (Soil Retention Curve, SRC) 的參數，進而作為模擬土壤入滲、蒸發及植物耗水等過程的基礎資料。

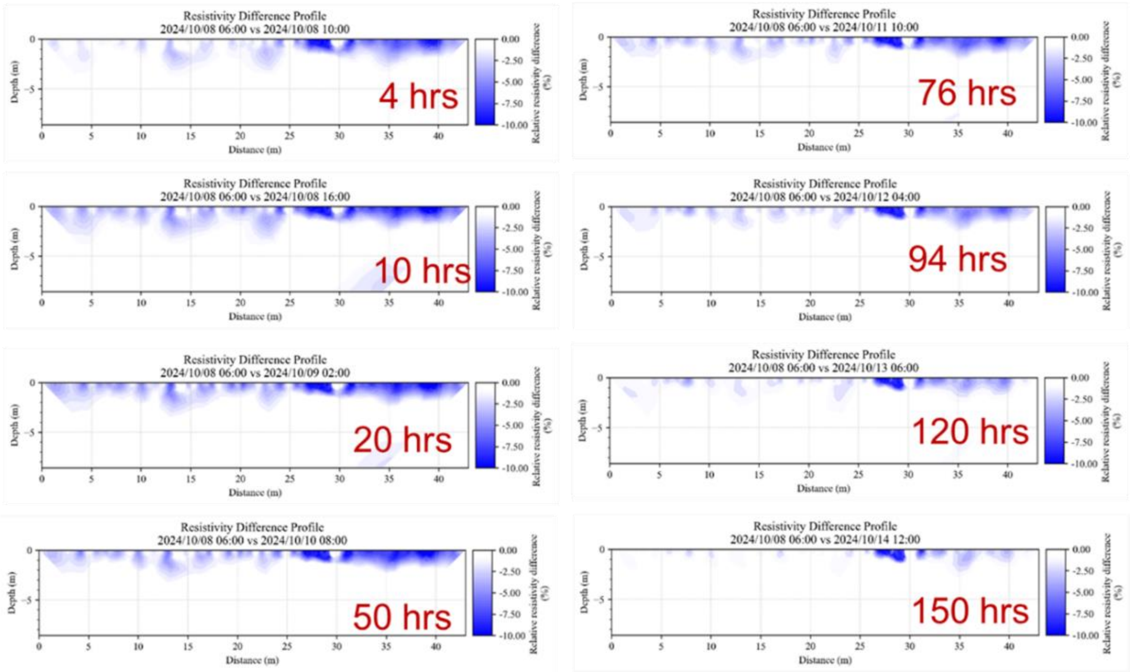


圖三、不同深度土壤監測參數隨時間變化：(a) 土壤含水量變化及與降水紀錄之對比；
(b) 50 cm 與 100 cm 深度之地溫觀測值 (實線) 與理論曲線 (虛線) 比較；
(c) 不同深度土壤張力變化曲線與降水事件之對應關係。

5.3 田間土壤含水量動態監測之應用與未來展望

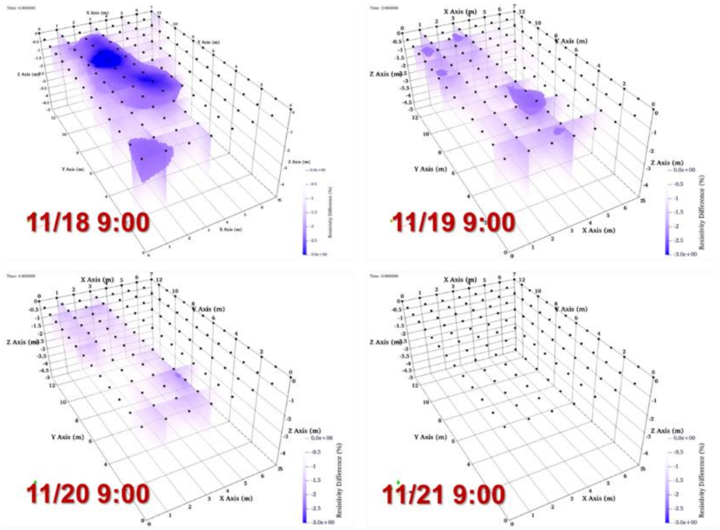
在灌溉或降雨事件中，ERT 可即時觀測水分入滲於土壤中的時空變化過程。分析方法通常先選取一組背景值，作為比較基準 (一般為灌溉或降雨前的電阻率剖面)，再計算各後續時間點相對於背景值的電阻率變化率。

圖四呈現 1 處水田 1 次灌溉事件後連續 2 至 150 小時的二維電阻率剖面差異，藍色區域代表電阻率下降，反映含水量增加的區域。觀測結果顯示，測線左側的電阻率較快回復至背景值，代表該區域入滲後的排水較快；而右側則回復緩慢，可能反映局部土壤滲透性較低或排水受阻，呈現場地內水分動態的空間差異。圖五展示另 1 處水田在 1 次灌溉後 4 日內的三維電阻率變化百分比分布。可以看到初期濕潤區集中分布於特定區域，隨時間推移逐漸縮小並回復至初始狀態。然而，不同位置的回復速度並不一致，顯示仍存在排水與滯水過程上的不均勻性，這對灌溉管理與農地改良策略制定具有重要參考價值。



圖四、灌溉後 2 至 150 小時的電阻率差異剖面圖，

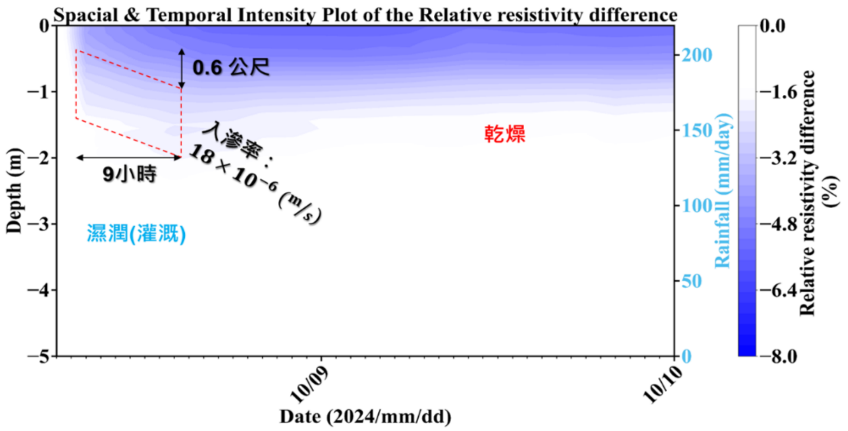
藍色區域表示電阻率下降，反映含水量增加。



圖五、灌溉後 4 日內的三維電阻率變化百分比分布，
顯示濕潤區域隨時間收縮與回復。

為進一步量化入滲速率，可將剖面變化沿垂直方向取一維深度-時間剖面 (圖六)，並計算其時空梯度。以本案例而言，於深度約 0.6 m 處觀測到的濕潤鋒在 9 小時內到達，推估平均入滲率約為 18×10^{-6} m/s。這種以 ERT 估算入滲率的方法，較傳統單點張力計或水分感測器更能捕捉空間變異性，並且在不破壞土壤結構的情況下提供評估。

隨著感測技術與資料處理能力的提升，ERT 與其他水文監測技術 (如土壤含水量、地溫、張力感測) 將可形成多元融合的監測系統，進一步改善入滲、滯留與排水特性的判斷精度。此外，透過即時資料傳輸與雲端運算，未來有望建立灌溉決策支援系統，即時回饋農田水分狀態，達到節水與精準農業的雙重目標。對於水資源管理、農田排水設計、地力保持及極端氣候下的農業韌性提升，這項技術都具有廣泛的應用潛力。



圖六、相對電阻率變化的一維深度-時間分布圖，並標示入滲率估算結果。

2

作物灌溉指引

1. 水稻

農業部桃園區農業改良場/鄭智允/副研究員
國立中興大學農藝學系/吳東鴻/副教授

1.1 作物概述

水稻 (*Oryza sativa*) 為臺灣最重要的糧食作物之一，全臺水稻總栽培面積約 22.5 萬公頃，其中中南部為核心產區，彰化、雲林、嘉義、臺南及臺中等縣市合計超過全國一半的面積，構成主要稻米供應區，國內水稻栽培制度為 1 年 2 個期作。1 期作種植面積約 14.6 萬公頃，2 期作則僅 7.9 萬公頃。由於 1 期作氣候適宜、日照充足，其平均單位產量達每公頃 7,200 kg，為 2 期作每公頃 4,929 kg 的 1.5 倍，總產量更高達 2 期作的 2.7 倍以上。全國稻穀總產量約 143.8 萬公噸，平均單位產量每公頃 6,404 kg。在各區表現上，以高雄、雲林與嘉義的單位產量超過每公頃 7,000 kg，展現中南部優良的生產效能；相較之下，北部與東部地區受限於氣候條件，單位產量相對偏低。

本試驗分別在兩個地區進行，新屋試區水稻品種為桃園 3 號，其於北部具良好適應性，亦為當地主要推廣之良質米品種，具有芋頭香氣、米粒大、外觀與食味品質佳，且穗上發芽率低，適合因應成熟期的雨害情境。霧峰試區水稻品種為台農 71 號，商品名為益全香米，具有早熟特性，米粒外觀飽滿、晶瑩剔透，米飯黏彈性佳、具芋頭香氣，兩者皆為優良且具地方特色之品種。

1.2 栽培環境

新屋試區土壤以黏質壤土與坋質黏壤土為主，表層 0-30 cm 含砂粒 13-21%、坋粒 51-57%、黏粒 28-33%，具良好保水能力。112-113 年試驗期間平均氣溫約 24.6℃，最高氣溫 38.9℃，最低氣溫 8.9℃；112 及 113 年降雨量約 1,121 mm 及 1,015 mm，冬季受東北季風影響氣候偏冷且多濕，日照不足，對 2 期作水稻產量影響較為顯著。霧峰試區土壤為黏質壤土，表層 0-30 cm 含砂粒 29.5%、坋粒 39.5%、黏粒 31%，保水性佳。112-113 年試驗期間平均氣溫約 25.3℃，最高氣溫 37.1℃，最低氣溫 7.3℃；112 及 113 年降雨量約 1,351 mm 及 1,543 mm，主要集中於梅雨及颱風季節。

在播種適期方面，霧峰地區 1 期作插秧期為 2 月下旬，收穫期為 6 月上旬；2 期作插秧期為 7 月下旬，收穫期為 10 月下旬。新屋地區因氣溫較低，播種期較霧峰略晚，1 期作多於 3 月上旬播種或插秧，收穫期約 7 月上旬；2 期作則於 7 月下旬至 8 月上旬插秧，收穫期約在 11 月中旬至下旬。累積溫度計算方式為最高溫與最低溫之平均值減去基礎溫度，基礎溫度為 10 度，新屋試區與霧峰試區 112-113 年之平均結果，從插秧至收穫期累積溫度第 1 期作分別為 1,743、1,521 度日，第 2 期作則分別為 1,864、1,734 度日。

1.3 灌溉指引

水稻之慣行灌溉方式，可稱為慣行湛水栽培或適期灌溉，一般指插秧後 3-5 日待根系定著後，進行第 1 次灌溉並保持田間湛水 3 cm，爾後至分蘗期間湛水維持 3-5 cm，曬田期間為分蘗期後段 (約插秧後 30-40 日)，不再灌溉並使田間土壤表層曬至有 2-3 cm 裂縫即可，因幼穗分化期至抽穗期間為需水臨界期，對水分需求最高，並保持湛水 5-10 cm 避免缺水，乳熟至黃熟期維持 0-3 cm，收穫前 7 日排水 (圖二)。

間歇灌溉則為插秧後第 1 次灌水時，先保持田面約 3-5 cm 水深，隨後停止灌溉，讓水位自然下降至田面無積水，再次灌水至水深 5 cm，此過程週期反覆進行，直到抽穗開花等敏感期則需維持淺水層或是曬田期維持田間乾燥，透過水分的循環管理，可較慣行栽培節省約 20-30% 灌溉水量並維持產量 (圖三)。

本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量。

在水稻不同生育期中，需水量存在顯著差異，灌溉管理應隨之調整。於插秧至分蘗初期及乳熟至黃熟期，屬於相對低需水階段，平均日耗水量約 3-4 mm，建議每 3-4 日灌溉 1 次，每次 20-25 mm，並且根據間歇灌溉的試驗，允許田面水位下降至土表 0 或 -5 cm 再行復灌，可搭配田間水位觀測管以監視土面下之水位 (圖一)，進入分蘗盛期可適度實施曬田，視天氣狀態停止灌溉 7-10 日，使土壤略為乾裂 2-3 cm 並促進根系發育。

當水稻進入幼穗分化至抽穗期，則為全生育期的需水高峰，平均日耗水量可達 5-6 mm，對水分最為敏感。此階段建議每 2-3 日灌溉 1 次，每次 40-50 mm，並維持 3-5 cm 之淺水層，以維持產量避免減損。收穫前 5-7 日應停止灌水，使田面保持乾燥，以利機械收穫。灌溉時可配合 3 日降雨預報與田間水位觀測管即時調整，當預報 ≥ 20 mm 時暫緩灌溉，避免灌後遇雨造成溢流與養分流失。

圖一、田間觀測管與水位計。

1.4 結語

水稻慣行湛水栽培須依各生育期之水分需求進行不同湛水高度之管理，雖能確保產量穩定，但用水量偏高；而間歇灌溉則透過土面下 5 cm 至田面上 5 cm 水位之循環，配合分蘗期曬田與抽穗期淺水管理，可有效節省慣行栽培約 20-30% 灌溉水量，且在適當操作下不影響產量表現。尤其在幼穗分化至抽穗等需水臨界期，維持穩定淺水層確保產量，相對於插秧、分蘗及乳熟至黃熟等低需水期，則可拉長期距或減少灌溉量，以提升水分利用效率。最後，灌溉操作除依循指引外，亦需考慮當地土壤質地與滲漏特性，並建議配合短期天氣預報及田間水位觀測，避免灌後逢雨導致溢流與養分流失。整體而言，因地制宜採用間歇灌溉並搭配即時調整，可使農民兼顧節水效益與穩定產量之目標。

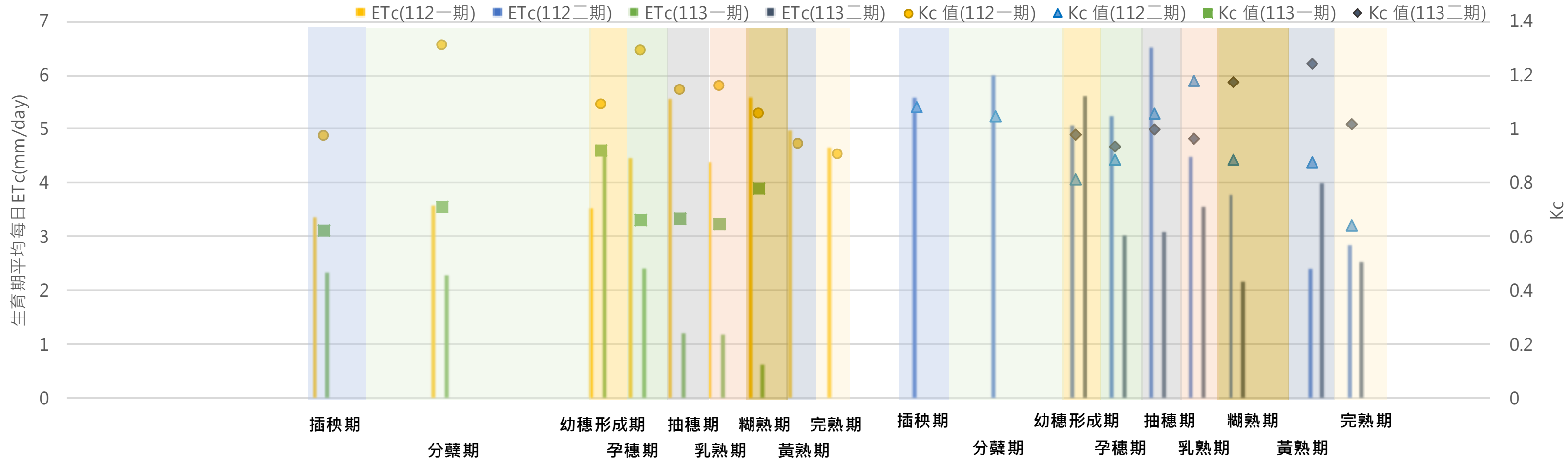
慣行水稻

地區(地理位置)：桃園市新屋試區　面積：1公頃　土壤質地：黏質壤土　灌溉方式：淹灌 (慣行栽培)　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

積溫　基礎溫度：10℃　(最高溫+最低溫)/2-基礎溫度

120　798　892　1075　1235　1420　1563　1723　1743　282　807　957　1114　1280　1534　1762　1851　1864



生育期	灌溉操作建議
插秧期至分蘗期	建議每 3-4 日灌溉 1 次、每次灌溉 20-25 mm (保持湛水 1-3 cm，允許水位下降至土面下 0-5 cm 再復灌)。
分蘗期(曬田)	分蘗期中後段 (約插秧後 30-40 日)，停止灌水 7-10 日，讓田面自然乾燥至無積水、表層有 2-3 cm 裂縫即可 (可能因降雨受影響)。
幼穗形成期至抽穗期	此階段為需水臨界期，是對水分需求最敏感時期。建議每 2-3 日灌溉 1 次、每次灌溉 40-50 mm (保持湛水 3-5 cm 避免缺水)。
乳熟到黃熟	建議每 3-4 日灌溉 1 次、每次灌溉 20-25 mm (允許水位下降至土面下 0-5 cm 再復灌)。
完熟期	收穫前 5-7 日建議停止灌溉、加強田區排水、保持乾燥，以利機械收穫。

執行單位：農業部桃園區農業改良場　計畫主持人：鄭智允副研究員

圖二、灌溉指引圖-慣行水稻 (詳附錄 1)。

間歇水稻

地區(地理位置)：台中市霧峰試區　面積：0.5公頃　土壤質地：黏質壤土　灌溉方式：間歇灌溉　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

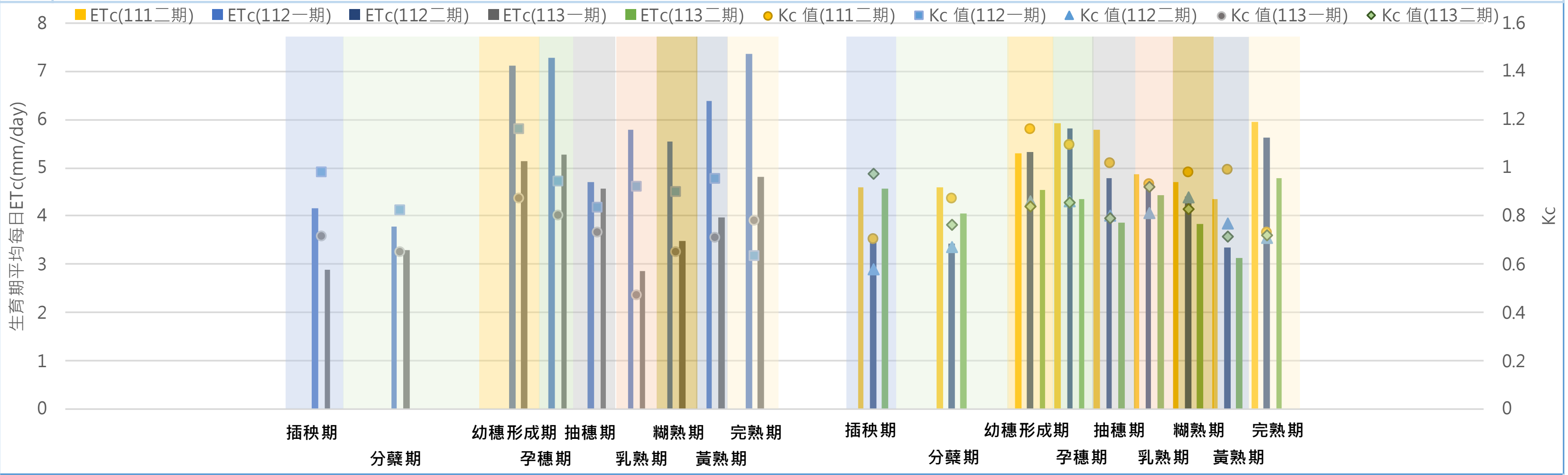
積溫　基礎溫度：10°C

95 736 848 1047 1315 1521

943 1152 1493

169 874 994 1278 1576 1734

1135 1417 1717



生育期	灌溉操作建議
插秧-分蘗期	田間水位自然下降達 0 cm 時，隔日再灌溉 40-50 mm，如此反覆。
曬田期	停止灌水 7-10 日，讓田面自然乾燥至無積水、表層有 2-3 cm 裂縫即可 (如遇強降雨可適時排水避免積水)。
幼穗形成期至抽穗期	此階段為需水臨界期，對水分需求最敏感時期。建議每 2-3 日灌溉 1 次、每次灌溉 40-50 mm (保持湛水 3-5cm 避免缺水)。
乳熟到黃熟	田間水位自然下降達 0 cm 時，隔日再灌溉 40-50 mm，如此反覆。
完熟期	收穫前 5-7 日建議停止灌溉、加強田區排水、保持乾燥，以利機械收穫。

執行單位：國立中興大學　計畫主持人：吳東鴻副教授

圖三、灌溉指引圖-間歇水稻 (詳附錄 2)。

2. 甘藷

農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所/侯惠盈/助理研究員、黃哲倫/副研究員
農業部農業試驗所/蔡耀賢/助理研究員

2.1 作物概述

甘藷（*Ipomoea batatas* L.）是臺灣重要雜糧作物，具良好環境適應性，廣泛種植於全臺各地。113 年全臺甘藷種植面積為 9,404 公頃，總產量為 218,218 公噸，主要產區集中於中南部，其中雲林生產面積 4,635 公頃為最大產區，依次為彰化 1,574 公頃、臺南 1,104 公頃。由於地理環境及氣候條件差異，臺灣全年雖均可栽培甘藷，但中北部地區慣行多以春夏作為主，而南部地區則以秋作栽培較為普遍。

本試驗以目前主要栽種的食用甘藷品種台農 57 號及台農 66 號進行研究。台農 57 號甘藷肉色橙黃，口感綿密細緻，適合秋作栽培，為目前全臺栽培面積最廣的品種；台農 66 號甘藷富含胡蘿蔔素，呈現亮眼的橙紅色，不僅營養價值高，還能適應不同期作，彌補台農 57 號在春夏作不易栽培的空窗期 (圖一、二)。

圖一、台農 57 號甘藷。

圖二、台農 66 號甘藷。

2.2 栽培環境

本試驗田區位於嘉義市，近 5 年 (109-113 年) 平均氣溫約為 23.5℃，其中夏季最高氣溫可達 37℃ 以上，冬季最低溫則可降至 6.9℃ 以下；年平均累積降雨量為 1,713.6 mm，降雨多集中於 4-9 月。

試驗田區分成夏作-台農 66 號及秋作-台農 57 號兩區，夏作田區土壤質地為壤土，總體密度為 1.44 g/cm^3，土壤有效水分含量為 161 mm/m；秋作田區土壤質地為壤土，總體密度為 1.39 g/cm^3，土壤有效水分含量為 229 mm/m。

臺灣氣候使得甘藷可全年栽培，依種植月份可分為數個期作：春作 (2-4 月)、夏作 (5-7 月)、秋作 (8-9 月) 及裡作或晚秋作 (10-11 月)。栽培面積以秋作與夏作占比較高，但各地區的適種期仍有所不同，南部地區以秋作及裡作為主要栽培期，而中北部地區則多以春夏作為主。因此，根據各地區及不同期作的氣候特性，調整栽培管理模式，是提升甘藷產量與品質的關鍵。

2.3 灌溉指引

甘藷雖為較具耐旱性的雜糧作物，但適當的灌溉對於促進植株生長與塊根膨大仍具關鍵作用。甘藷的灌溉方式以溝灌最為普遍，其操作簡便且適合臺灣多數地區之耕作條件。然而，若田區地形不平整或畦溝設計不良，易造成水分分布不均，進而影響塊根發育與品質表現。因此，應特別留意田區整地及排水，並掌握灌溉時機，以提升用水效率。

本試驗結合田間觀測數據及氣象資料，透過作物蒸發散量 (ETc) 及參考蒸發散量 (ETo) 計算甘藷各生育階段之作物蒸發散係數 (Kc)，並進而推估灌溉量。不同生育階段的灌溉建議如下(圖三)：

- 生育初期 (插植後第 1-15 日) 為扦插苗定植階段，植株尚未完全建立根系，對水分極為敏感，應保持土壤濕潤，若田區土壤偏乾，可進行灌溉 1 次，灌溉深度以畦高 1/2 為宜，建議灌溉量約 40-45 mm。

- 莖葉發育與塊根形成期 (16-45 日) 包含甘藷營養生長及塊根形成初期，水分需求逐漸上升，建議每 3-4 週灌溉 1 次，灌溉深度仍以畦高 1/2 為宜，建議灌溉量約 40-45 mm。可依實際天氣及土壤含水量調整灌溉，以免生長受限。

- 塊根膨大期 (夏作 46-90 日/秋作 46-105 日) 為甘藷需水高峰期，作物蒸發散係數達生育期最大值，適當供水可促進塊根充分發育。建議每 2-4 週灌溉 1 次，灌溉深度仍以畦高 1/2 為宜，建議灌溉量約 40-45 mm。

- 塊根成熟期 (夏作 91-120 日/秋作 106-150 日) 在前期仍應維持基本供水，建議每 2-4 週灌溉 1 次，灌溉深度仍以畦高 1/2 為宜，建議灌溉量約 40-45 mm。後期則應停止灌溉，有助於穩定塊根品質，並利於採收作業。

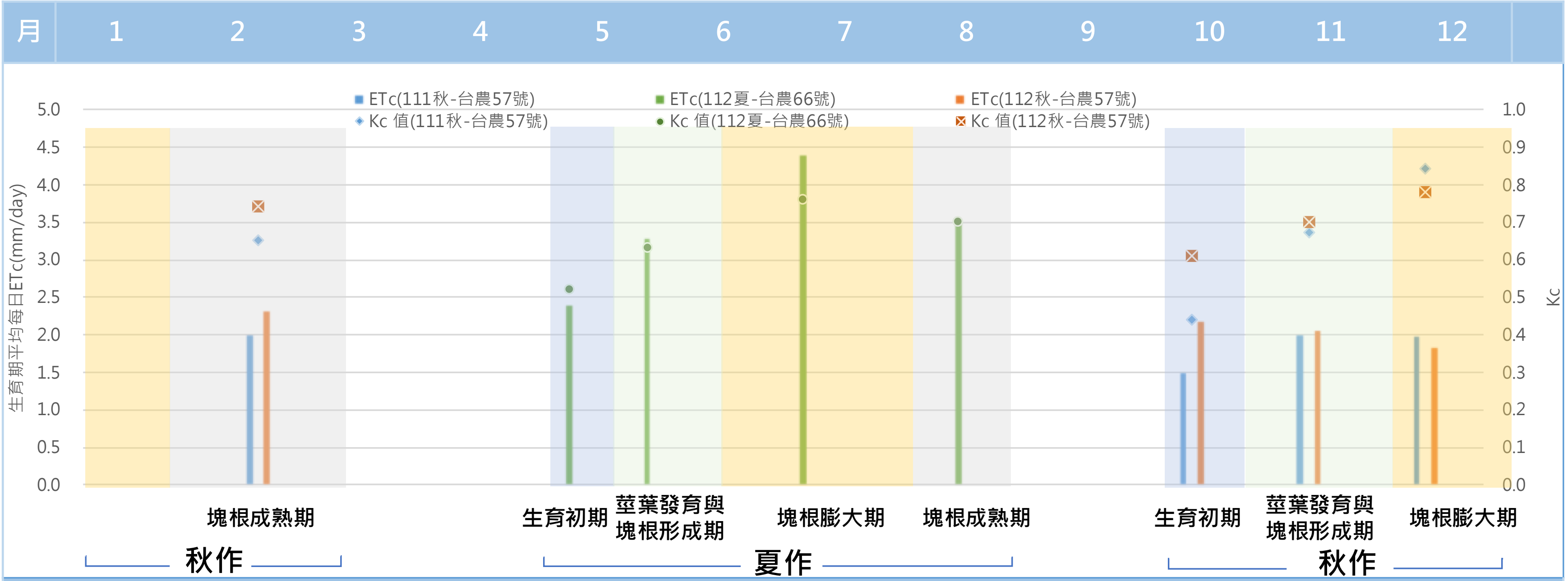
以上建議灌溉量與頻率僅為參考原則，應用時仍須依據當地氣候條件、土壤性質與田間作物狀況進行調整。尤其在雨季或連續降雨期間，應酌減或停止灌溉，並加強田間排水，以避免積水抑制植株生長，或造成塊根腐爛等問題。

2.4 結語

近年來極端天氣發生頻度與強度日益升高，不僅衝擊甘藷生產安全，亦挑戰過去建立的區域灌溉水調配與田間管理技術。本指引結合實地監測資料與氣象數據分析，建立夏作及秋作甘藷全生育期之灌溉建議，提供水資源科學化管理之參考依據。透過掌握各生育階段的需水特性，並依據氣候與土壤特性調整灌溉策略，不僅有助於提升用水效率，更能穩定生產並確保收穫品質。

甘藷

地區(地理位置)：嘉義市東區-農試所嘉義分所　面積：0.4 公頃　土壤質地：壤土　灌溉方式：溝灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
生育初期	如田區土壤偏乾，可進行灌溉 1 次，灌溉深度以畦高 ½ 為宜，灌溉量約為 40–45 mm。
莖葉發育與塊根形成期	建議每 3–4 週灌溉 1 次，灌溉深度以畦高 1/2 為宜，灌溉量約為 40–45 mm。
塊根膨大期	建議每 2–4 週灌溉 1 次，灌溉深度以畦高 1/2 為宜，灌溉量約為 40–45 mm。
塊根成熟期	前期仍應維持基本供水，建議每 2–4 週灌溉 1 次，灌溉深度以畦高 1/2 為宜，灌溉量約為 40–45 mm；後期則建議停止灌溉。

執行單位：農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所　計畫主持人：侯惠盈助理研究員

圖三、灌溉指引圖-甘藷 (詳附錄 3)。

3. 食用玉米

農業部農業試驗所作物組/李欣叡/助理研究員

3.1 作物概述

食用玉米 (*Zea mays* L.) 為禾本科玉蜀黍屬一年生草本植物，果穗可直接煮食或加工製品，是全球重要糧食作物之一。食用玉米國內全年皆可種植，種類有超甜玉米、糯玉米、普通甜玉米及筍用玉米。113 年國內食用玉米栽培面積約 14,514 公頃，年產量約 125,148 公噸。食用玉米在臺灣栽培最多的地區為雲林、臺南、嘉義地區，以秋作及裡作較適合栽培，栽培面積也較多，其次為春作。由於產季分布廣、供應穩定，市場常年可見新鮮玉米上市，為日常飲食中不可或缺的雜糧作物。

本試驗食用玉米品種為'金鳳'，屬於金黃色超甜玉米。水分管理為影響其產量與品質的關鍵因素，若生育期間遭遇乾旱或淹水等逆境，極易造成玉米穗部發育不良，產生禿頂、缺粒及穗長縮短等現象 (圖一)，進而影響果穗品質及銷售價值。

圖一、乾旱造成玉米穗缺粒禿頂。

3.2 栽培環境

本試驗田區位於臺中市霧峰區，112 年 3-5 月春季日均溫為 23℃、9-11 月秋季日均溫為 25℃，年累積降雨量約為 1,351 mm。

土壤質地將影響田區保水及排水能力，試驗田區之土壤質地為砂質壤土，砂粒占 53.89%、坋粒 35.91%、黏粒 10.20%，總體密度 1.31 g/cm^3，有效水分含量為 187 mm/m。

臺灣氣候週年皆可栽培食用玉米，但為避免遭遇冬季低溫及夏季颱風時期等天然災害高風險，春作通常於 2 月中旬至 3 月中旬播種，秋作於 9 月上旬至 10 月上旬播種，以確保作物穩定生產。

3.3 灌溉指引

本試驗採用慣行耕作，灌溉方式主要為溝灌。

食用玉米生育期可依生育型態分為 3 個主要階段：生育初期 (播種至 5 葉齡)、生長期 (5 葉齡至開花期) 以及生育中期 (開花後至收穫期)。亦可採用積溫方式推斷生育階段，春作時積溫達 319℃ 轉換為生長期，達 707℃ 後為生育中期；秋作時積溫達 377℃ 轉換為生長期，達 759℃ 後為生育中期。不同階段對水分之敏感性與需求量有差異，應配合玉米生長狀況與環境條件管理灌溉方式。

本試驗的田間數據結合氣象資料與各生育期作物係數 (Kc)，計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖四)。

- 生育初期食用玉米幼苗對淹水敏感，應注意避免田區積水並加強排水，建議幼苗生長至 15 cm 後再進行第 1 次灌溉。植株幼小時的水分需求量較低，但土壤乾裂時仍須適時補充水分，生育初期尚未中耕於行間開溝，難以灌溉，需要較多的水量方能均勻灌溉田區 (圖二)，建議春作每 14 日灌溉 1 次，每次 36 mm；秋作溫度較高，建議每 10 日灌溉 1 次，每次 36 mm。

- 生長期於中耕後已於玉米行間挖溝，較容易讓灌溉水均勻流至田區各處 (圖三)，建議春作 14 日灌溉 1 次，每次灌 34 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 34 mm。
- 生育中期為玉米抽雄穗後，此時為水分敏感時期，應注意維持土壤濕度，使花粉正常發育及籽粒充實完全，建議春作縮短灌溉間隔，每 12 日灌 1 次，每次 32 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 38 mm。如遇降雨，則斟酌減少灌溉次數。

圖二、中耕前灌水量太低，
容易造成灌溉不均勻。

圖三、中耕後灌水較容易均勻灌溉。

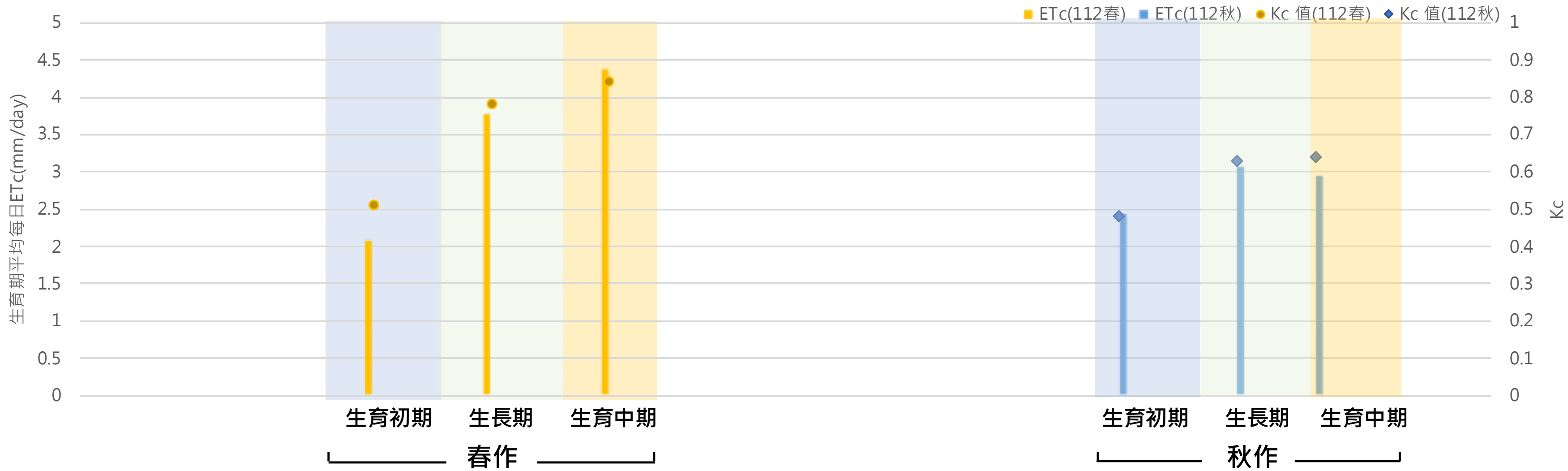
3.4 結語

臺灣屬亞熱帶氣候，全年雨量雖豐沛卻時空分布不均，特別是春作初期及秋作後期常有短期乾旱情形。建立食用玉米灌溉指引，精準調控灌溉時機與水量，不僅可提升用水效率與維持產量，亦能於乾旱發生時期，作為決策單位分配農業水資源的重要參考依據，強化天災風險應變能力。

食用玉米

地區(地理位置)：臺中市霧峰區-農試所　面積：1.1公頃　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：溝灌　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
積溫	基礎溫度：10°C			319°C	707°C	995°C				377°C	759°C	1,046°C



生育期	灌溉操作建議
生育初期	無雨情境下建議春作每 14 日灌溉 1 次，每次灌溉 36 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次灌溉 36 mm。
生長期	無雨情境下建議春作每 14 日灌溉 1 次，每次灌溉 34 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次灌溉 34 mm。
生育中期	生育中期為水分需求敏感時期。無雨情境下建議春作每 12 日灌溉 1 次，每次灌溉 32 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次灌溉 38 mm。

執行單位：農業部農業試驗所　計畫主持人：李欣叡助理研究員

圖四、灌溉指引圖-食用玉米 (詳附錄 4)。

4. 硬質玉米

農業部臺南區農業改良場/謝禮臣/助理研究員

4.1 作物概述

硬質玉米 (Field corn)，昔稱飼料玉米，為臺灣重要雜糧作物。因植株生長勢強健、環境適應性佳，廣泛種植於雲林、嘉義、臺南等地區。113 年全臺硬質玉米總種植面積為 24,396 公頃，以臺南 11,003 公頃最多，依次為嘉義 6,986 公頃、雲林 3,146 公頃、花蓮 1,729 公頃。從分布來看，硬質玉米栽培主要集中在雲嘉南地區，佔國內栽培面積 86.6%。受不同地區的土壤性質、管理模式及品種之差異影響，平均乾籽粒產量每公頃 3,000-6,000 kg。目前國內主要栽培品種依成熟期長短分為中早熟 (如台農 1 號、台農 7 號、臺南 29 號等)、晚熟 (如明豐 3 號、泰子 822 等)類型。國內生產以動物飼料用途為主，少數應用於食品、寵物飼料等領域。

水分逆境 (如乾旱或淹水) 對不同生育期的硬質玉米，存在不同程度影響。生育初期碰上水分逆境，容易產生種子腐爛、苗株凋萎，導致缺株率提高 (圖一、二)。生育期碰上缺水乾旱，容易限制植株節間伸長並影響幼穗的潛在行粒數分化；碰上降雨淹水，容易發生植株倒伏、葉片黃化問題 (圖三)。生育中期遇上水分逆境，容易影響開花授粉，對產量減損問題極為嚴重 (圖四)。生育後期出現水分逆境，對子粒充實影響顯著，輕微者百粒重降低，嚴重者出現敗育棄收情況。此外，若環境持續潮濕下，容易出現子粒穗上發芽，影響後續採收繳售問題。

圖一、硬質玉米因乾旱緣故
導致苗株出土率不佳。

圖二、硬質玉米因土壤降雨積水
導致苗株出土率不佳。

圖三、生育期玉米因降雨積水
導致植株倒伏。

圖四、硬質玉米植株因乾旱缺水
影響開花授粉。

4.2 栽培環境

試驗田區位於嘉義縣朴子市。氣候屬熱帶季風氣候，近 5 年 (109-113 年) 的年平均溫度為 23.8℃，最熱月份均在 7 月份 (113 年 7 月 35.3℃ 最高)，最冷月份落在 1-2 月 (113 年 1 月 9.1℃ 最低)。年累積降雨量 758-1,674 mm，雨季集中在 4-9 月。

試驗田區為坋質壤土，有機質含量為 2.03%，有效水分含量為 324 mm/m。

考量入秋後的溫度由高溫漸轉冷涼、降雨由多轉少等因素下，中南部的種植以秋季為佳。在播種適期上，雲林沿海鄉鎮為避免 10 月起的東北季風影響授粉，多從 8 月上旬至 8 月下旬播種；嘉南地區通常自白露後陸續整地、播種；嘉義為 9 月上旬至 9 月下旬；臺南為 9 月中下旬至 10 月中旬。

4.3 灌溉指引

硬質玉米因具耐貧瘠能力且環境適應性佳，多種植在中南部的沿海鄉鎮或缺乏灌溉設施的看天田。配合農田水利署的水利設施調配供水，每次生育期間進行 1 次灌溉。灌溉方式採用溝灌。通常機械播種後，產生淺溝，並在中耕培土期間，透過中耕機或大型機械開溝，形成畦溝分明的情況，以利溝灌。

玉米生育期分 4 個階段：生育初期、生長期、生育中期、生育後期。本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖五)。

- 生育初期泛指幼苗期，為播種至玉米葉齡 4 (V_4)。該時期的生長點尚在土表下方，對水分敏感，因此土壤過乾或過濕均不利苗株生長。春季播種因處旱季，土壤易因降雨不足導致過乾，故建議播種前 2-3 週宜開溝漫灌 1 次，建議灌溉量 30-40 mm，並伺機整地後播種。播種後，若土壤仍因降雨不足導致過乾 (如苗株萎凋、葉片捲曲)，建議播種後 20-25 日進行 1 次灌溉，灌溉量建議為 40-45 mm。反之，秋季若土壤因降雨積水，應即時排水，降低田區因積水造成苗株缺氧死亡風險。此外，春季因冷熱交替，溫度變化大，容易提高薊馬密度，應時刻留意並即時防治。

- 生長期泛指節間生長期，為玉米葉齡 5 (V_5) 至葉齡 V_T。該時期的玉米處在快速生長期，適當的水分供應有助幼穗分化，奠定潛在行數、潛在行長與潛在每行粒數的基礎。建議在玉米葉齡 10 (V_{10}) 灌溉 1 次，建議灌溉量為 40-45 mm。春季考量易降雨問題，建議作畦栽培並開通水路，保持排水良好系統。另外，灌溉後 2-3 日內應打開水路，避免因降雨宣洩不及導致田區積水風險。

- 生育中期泛指開花吐絲期至籽粒充實期。此時期的玉米主要進行開花授粉與籽粒充實，是產量構成要素中的每穗粒數與百粒重的形成期。建議在籽粒形成期 (R_2) 灌溉 1 次，建議灌溉量為 25-30 mm。春季栽培需格外留意降雨導致植株倒伏、授粉不良等問題，並記得灌溉後 2-3 日內打開水路，避免降雨造成積水。

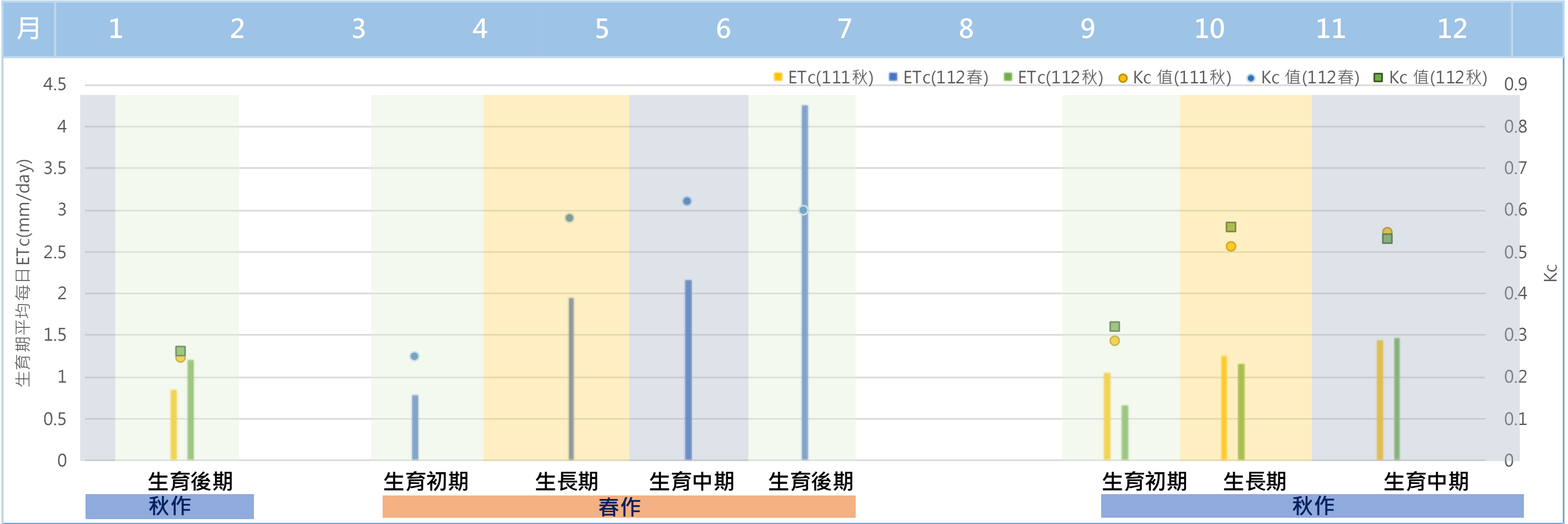
- 生育後期泛指籽粒達生理成熟期，此時的玉米植株開始葉片老化、籽粒乾燥脫水。因考量籽粒進入乾燥階段，除不建議灌溉外，應留意田區溝渠通暢，避免因降雨積水延後收穫作業。

4.4 結語

硬質玉米為良好土地利用型作物，近年來配合國內稻田轉作政策推動，栽培面積大幅提升。然而，多數農田囿於水分管理限制，導致產量表現低落。究其根本是因產區缺乏地下水井，往往僅能配合農田水利署的灌溉調配運作或是為看天田。充足的水分供應有助玉米高產外，也能強化植株生長勢，增加耐逆境能力。建立硬質玉米生育期間的灌溉指引，能精準調控灌溉時機與水量，可提供為重要參考依據。

硬質玉米

地區(地理位置)：嘉義縣朴子市 面積：0.6公頃　土壤質地：坋質壤土　灌溉方式：溝灌　　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
生育初期	若土壤過乾且無降雨，建議播種後第 20-25 日灌溉 1 次、灌溉量 40-45 mm。
生長期	建議在玉米生長期葉齡 10 (V_{10}) 灌溉 1 次，灌溉量 40-45 mm。
生育中期	建議在玉米籽粒形成期 (R_2) 灌溉 1 次，灌溉量 25-30 mm。
生育後期	不建議灌溉，此外應留意田區溝渠暢通，避免因降雨積水。

執行單位：農業部臺南區農業改良場　計畫主持人：謝禮臣助理研究員

圖五、灌溉指引圖-硬質玉米 (詳附錄 5)。

5. 大豆

農業部高雄區農業改良場/周國隆/研究員

5.1 作物概述

大豆是國內稻田轉作主要的旱田作物，也是重要的糧食作物，113 年全臺栽培面積 4,474 公頃，年產量 5,568 公噸，占國內食用市場不足 2%，主要栽培品種為高雄選 10 號、臺南 10 號及高雄 9 號，以屏東、雲林及花蓮為主要栽培地區。臺灣大豆年進口量達 250 萬多公噸，以基改大豆為主，主要用於飼料及製油，僅約 10-15% 作為食品加工用。

大豆生育期常因灌水太多導致如根腐病及紅冠腐病易發生 (圖一)，嚴重時植株黃化枯死，不僅產量降低且浪費水資源。因應氣候變遷，本試驗以高雄 9 號及高雄 13 號兩品種建立大豆需水量管理模式，提供豆農灌溉指引，以提升水資源利用效率及節省灌水量。

圖一、大豆田不可灌水太多，易使植株罹患根腐病 (左) 或紅冠腐病 (右)。

5.2 栽培環境

本試驗田區位於屏東縣長治鄉，春作 (1-5 月) 平均日氣溫為 19.3-27.5℃、累積月日射量為 512-645 MJ/m^2、累積月降雨量為 0-357 mm；秋作 (9-12 月) 平均日氣溫為 27.8-20.6℃、累積月日射量為 570-396 MJ/m^2、累積月降雨量 70-517 mm。土質為砂壤土、有機質 1.89-1.90%、有效水分含量 266 mm/m。

高屏地區播種適期春作 1 月中旬至 2 月，秋作 9 月至 10 月上旬。春作大豆隨著播種期越晚，其需水量越多；秋作大豆則隨著播種期越晚，其需水量越少。

5.3 灌溉指引

農田種植前全面灌溉，大豆種植後採溝灌。本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc)，估算出作物各生育期需水量 (ETc)，並進而推估灌溉量 (圖二)。

大豆種植前全面灌水約 130-150 mm，即每公頃需水 1,300-1,500 公噸，控制土壤最適乾濕度 (含水量 40-50%) 時進行機械播種，切勿在播種後 6 日內灌水，種子發芽期易產生傷口，造成根腐病或紅冠腐病的土壤傳播病原菌侵入寄生，在高溫且土壤濕度高時較易發生，並可在土壤中殘存及藉由灌溉水傳播。

大豆全生育期需水量春作為 350-450 mm，秋作為 300-350 mm，依生育期需水量分別在播種後 10-20 日幼苗期、25-35 日開花幼莢期、40-50 日豆莢伸長期、55-65 日籽粒充實期、70-75 日綠莢成熟期等 5 個生育期各灌水 1 次，每次灌水量春作 70-80 mm，秋作 60-70 mm，灌水時以畦溝灌水 8-9 分滿，讓水分藉毛細管作用擴散至畦面濕潤即可。若有下雨可視田間乾濕狀況調整灌溉次數，但不可灌水太多，易使植株罹患根腐病或紅冠腐病。

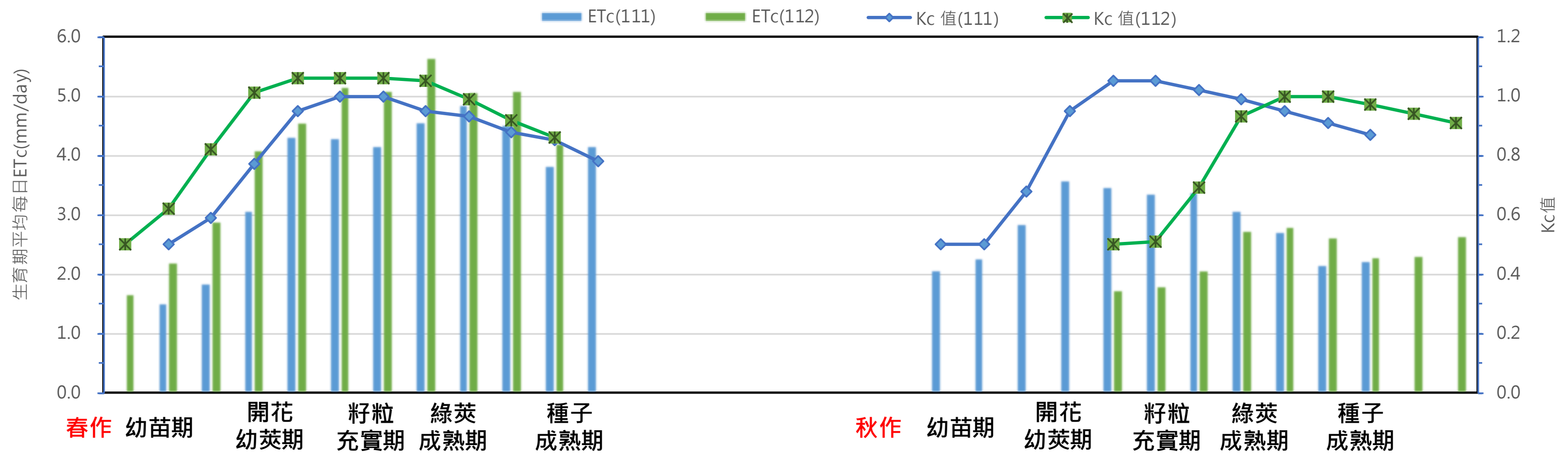
5.4 結語

因應氣候變遷，建立大豆最適灌溉管理模式，可提升水資源利用效率及節省灌溉水量達 20% 以上，不影響收穫品質及產量，並可減少根腐病及紅冠腐病發生，可提供農業用水灌溉決策的重要參考依據。

大豆

地區(地理位置)：屏東縣長治鄉　面積：1公頃　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：溝灌　　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
積溫	V1 → R2 → R5 → R6 → R8 112.9 → 343.2 → 642.4 → 871.8 → 1342.1					基礎溫度：11℃			V1 → R2 → R5 → R6 → R8 133.1 → 486.4 → 722.6 → 958.8 → 1336.3				



秋作生育期	灌溉操作建議 (若有雨可視田間乾濕狀況調整灌溉次數及時程)
幼苗期 (0-15日)	播種後 10-15 日幼苗期灌溉 1 次、灌溉量 50-60 mm。
開花幼莢期 (16-30日)	播種後 25-30 日開花幼莢期灌溉 1 次、灌溉量 60-70 mm。
籽粒充實期 (31-54日)	播種後 40-45 日豆莢伸長期灌溉 1 次、灌溉量 70-80 mm。
綠莢成熟期 (55-70日)	播種後 55-60 日籽粒充實期灌溉 1 次、灌溉量 60-70 mm。
種子成熟期 (71-100日)	播種後 70-75 日綠莢成熟期灌溉 1 次、灌溉量 70-80 mm，之後停止灌溉、加強田區排水、保持乾燥，可促進種子成熟期落葉，以利機械採收。

執行單位：農業部高雄區農業改良場　計畫主持人：周國隆研究員

圖二、灌溉指引圖-大豆 (詳附錄 6)。

6. 毛豆

農業部高雄區農業改良場/周國隆/研究員

6.1 作物概述

毛豆是具有競爭力的外銷型產業，主要栽培品種為高雄 9 號及高雄 13 號，以高屏及雲嘉為主要栽培地區。113 年全臺栽培面積 9,220 公頃，年產量約 69,500 公噸，年外銷量達 32,654 公噸，產值 7,351 萬美元，主要銷往日本占 72.6%，其餘則銷往美國、加拿大等 26 個國家。其中冷凍毛豆產品產值在日本的市占率 41.0%，已連續 17 年銷日冠軍，分別為競爭對手中國及泰國輸日產品的 1.31 及 1.98 倍，平均每公斤價格 355 日圓，較中國 270 日圓價值高 31.7%。另外冷凍毛豆產品銷美數量 6,231 公噸，產值 1,357 萬美元，較 112 年增加 172 萬美元，創造了「臺灣綠金」產業，也大幅提升毛豆產品在國際市場的競爭力。

毛豆外銷專區屬大田區，常因灌水太多導致如根腐病及紅冠腐病易發生，嚴重時植株黃化枯死，不僅產量降低且浪費水資源。因應氣候變遷，本試驗以高雄 13 號品種建立毛豆外銷專區需水量管理模式，提供專業豆農灌溉指引，以提升水資源利用效率及節省灌水量。

圖一、毛豆田不可灌水太多，易使植株罹患根腐病 (左) 或紅冠腐病 (右)。

6.2 栽培環境

本試驗在屏東縣屏東市及高雄市旗山區兩不同土壤質地的場域進行，春作 (1-5 月) 平均日氣溫屏東市 17.7-27.6℃、旗山區 16.9-26.4℃，累積月日射量為屏東市 369-721 MJ/m^2、旗山區 389-588 MJ/m^2，累積月降雨量為屏東市 0-174 mm、旗山區 0-117 mm；秋作 (9-

12 月) 平均日氣溫屏東市 28.3-19.7℃、旗山區 28.0-19.0℃，累積月日射量為屏東市 757-377 MJ/m^2、旗山區 575-350 MJ/m^2，累積月降雨量為屏東市 0-417 mm、旗山區 0-541 mm。屏東市土質為砂壤土、有機質 1.89-1.90%、有效水分含量 266 mm/m。旗山區土質為壤土、有機質 1.17-1.36%、有效水分含量 284 mm/m

高屏地區播種適期春作 1 月中旬至 2 月，秋作 9 月至 10 月上旬。春作毛豆隨著播種期越晚，其需水量越多；秋作毛豆則隨著播種期越晚，其需水量越少。

6.3 灌溉指引

農田種植前全面灌溉，毛豆種植後採溝灌。本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc)，估算出作物各生育期需水量 (ETc)，並進而推估灌溉量 (圖二)。

毛豆種植前全面灌水約 130-150 mm，即每公頃需水 1,300-1,500 公噸，控制土壤最適乾濕度 (含水量 40-50%) 時進行機械播種，切勿在播種後 6 日內就灌水，種子發芽期易生傷口，造成根腐病或紅冠腐病的土壤傳播病原菌侵入寄生，易在高溫且土壤濕度高時發生，並可在土壤中殘存及藉由灌溉水傳播。

毛豆全生育期需水量春作為 270-320 mm，秋作為 200-250 mm，依生育期需水量大致灌溉 4 次，分別在播種後 10-20 日幼苗期、25-35 日開花幼莢期、40-50 日豆莢伸長期、55-65 日籽粒充實期等 4 個生育期各灌水 1 次，每次灌水量 60-70 mm，灌水時以畦溝灌水 8-9 分滿，讓水分藉毛細管作用擴散至畦面濕潤即可。若下雨可視田間乾濕狀況調整灌溉次數，但不可灌水太多，易使植株罹患根腐病或紅冠腐病。

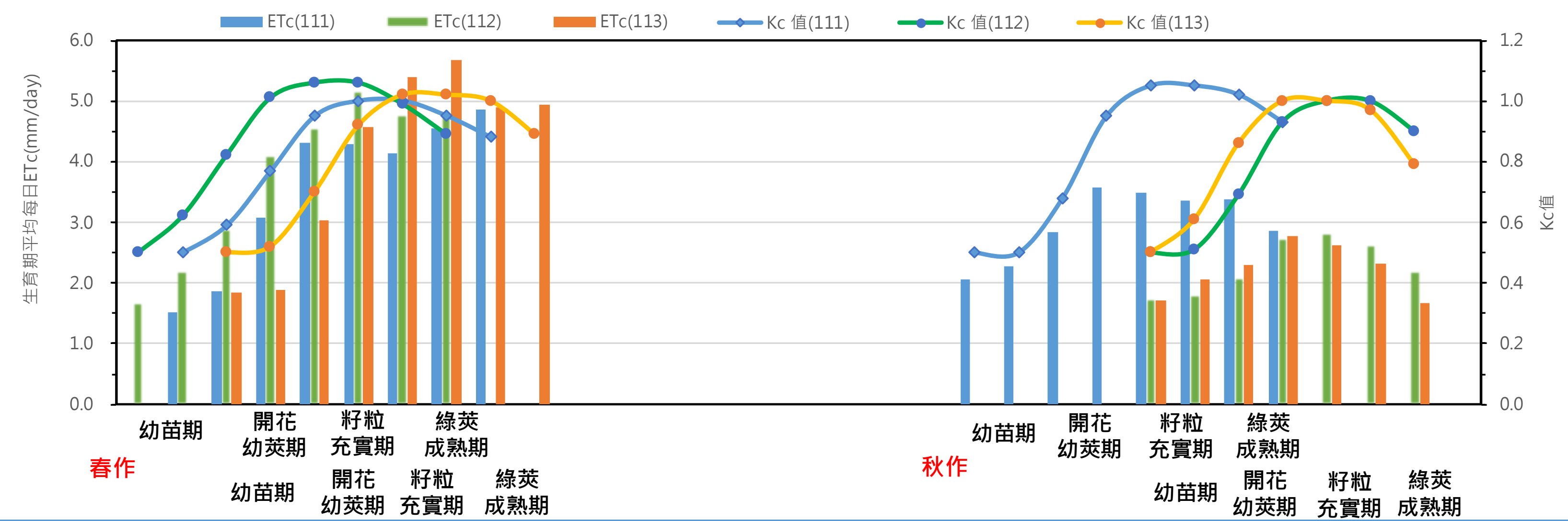
6.4 結語

因應氣候變遷，建立毛豆外銷專區最適灌溉管理模式，將擴大應用於毛豆外銷專區 2,750 公頃，可提升水資源利用效率及節省灌溉水量達 20% 以上，不影響收穫品質及產量，並可減少根腐病及紅冠腐病發生，可提供農業用水灌溉決策的重要參考依據。

毛豆

地區(地理位置)：屏東市海豐　面積：1公頃　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：溝灌　　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
積溫	V1 → R2 → R5 → R6 112.9 → 343.2 → 642.4 → 871.8					基礎溫度：11℃			V1 → R2 → R5 → R6 133.1 → 486.4 → 722.6 → 958.8				



秋作生育期	灌溉操作建議 (若有雨可視田間乾濕狀況調整灌溉次數及時程)
幼苗期 (0-15日)	播種後 10-15 日幼苗期灌溉 1 次、灌溉量 50-60 mm。
開花幼莢期 (16-30日)	播種後 25-30 日開花幼莢期灌溉 1 次、灌溉量 60-70 mm。
籽粒充實期 (31-54日)	播種後 40-45 日豆莢伸長期灌溉 1 次、灌溉量 70-80 mm。
綠莢成熟期 (55-70日)	播種後 55-60 日籽粒充實期灌溉 1 次、灌溉量 60-70 mm。

執行單位：農業部高雄區農業改良場　計畫主持人：周國隆研究員

圖二、灌溉指引圖-毛豆 (詳附錄 7)。

7. 高粱

農業部臺南區農業改良場朴子分場/張庭禎/助理研究員

7.1 作物概述

高粱（*Sorghum bicolor*）為禾本科高粱屬一年生雜糧作物，性喜溫暖氣候，由於具有很強的抗旱及耐高溫能力，又稱為「駱駝作物」。最適生長溫度為 25-35℃，不耐低溫，平均氣溫低於 15℃ 即停止生長。高粱為臺灣新興作物之一，主要用途仍以釀酒為主，主要栽培品種為臺中 5 號、臺南 7 號及臺南 8 號等品種。

近年金門酒廠釀酒需求增加，臺灣本島於 111-113 年大面積推廣種植臺南 7 號及臺南 8 號，栽培面積於 111 年之前為 1,700-2,000 公頃，111-113 年栽培面積提升至 2,500-4,000 公頃。於 112 年，高粱栽培期間遭遇乾旱缺水，田間植株葉片捲曲及生長勢差 (圖一)。

圖一、高粱遭遇乾旱受損。

7.2 栽培環境

本試驗田區位於嘉義縣朴子市，113 年 3-7 月日均溫為 23℃、10-12 月日均溫為 25℃，年累積降雨量約為 1,351 mm。

土壤質地將影響田區保水及排水能力，試驗田區之土壤質地為壤土，砂粒占 38.12%、坋粒 43.55%、黏粒 18.3%，總體密度 1.31 g/cm3，有效水分含量為 324 mm/m。

臺灣氣候可栽培高粱兩個期作，為避免遭遇春季梅雨及冬季寒害等天然災害高風險期，春作建議於 3 月下旬至 4 月上旬播種，秋作於 7 月下旬至 9 月上旬播種。

7.3 灌溉指引

本試驗採用慣行耕作方式，灌溉方式主要為溝灌。在灌溉指引建立方法中，藉由試驗田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖四)。

高粱生育期可依生育型態分為四個主要階段：生育初期 (成活期至分蘗期，積溫達 0-419℃)、節間生長期 (分蘗期至孕穗期，積溫 419-513℃)、生育中期 (開花期至乳熟期，積溫 513-686℃) 以及生育晚期 (糊熟期至成熟期，積溫達 686-756℃)。依據高粱不同栽種季節及不同生育階段，對水分需求也不同。

由於春作 3-7 月日均溫和日照時數皆偏高，故需水量較高，灌溉需求高，考量高粱播種後會因土壤過於乾燥而有出土率不佳的情形，建議栽培時，若無降雨，可於播種前 1-2 週灌溉 30-40 mm，待土壤濕度適中再行整地播種，播種前可以手握土壤，若土壤呈團塊狀，再用手輕拍，土壤則鬆散即可進行播種作業。

生育初期高粱幼苗對淹水敏感，應注意避免田區積水並加強排水 (圖二)；幼苗期植株幼小時的水分需求量較低，若土壤沒有過於乾燥，無需灌溉，在播種後 20-30 日 (分蘗期) 可於中耕後灌溉 1 次 (圖三)，每次 34 mm；播種後 30-50 日 (幼穗形成期至抽穗期) 可於中耕後灌溉 1 次，每次 27 mm；由於開花-乳熟期對水分需求最為敏感，播種後 60-80 日每 10 日可灌溉 1 次，每次 33 mm，開花和籽粒充實初期為水分敏感時期，若土壤乾燥則有灌溉必要，避免產量減損；若在梅雨期間 (5 月中旬至 6 月上旬) 可獲得雨水補充，可減少灌溉次數 2 次，農民可視田區濕度或高粱葉片有無呈現缺水現象調整灌溉；播種後 80 日之後，高粱因逐漸進入生理成熟，水分需求下降，適度乾旱有利於籽粒成熟，建議無須灌溉。

秋作因日均溫及日照時數隨生育時間增加而減少，可降低灌溉量，在播種後 20-30 日 (分蘗期) 可灌溉 1 次 (圖三)，每次 12 mm；播種後 30-50 日 (幼穗形成期至抽穗期) 可灌溉 1 次，每次 15 mm；由於開花-乳熟期對水分需求最為敏感，播種後 60-80 日每 10 日可灌溉 1 次，每次 15 mm；播種後 80 日之後，建議無須灌溉。

圖二、幼苗避免田間積水。

圖三、節間生長期灌溉。

7.4 結語

因近年氣候變遷導致降雨分布不均，灌溉水資源顯得非常珍貴，需節省水資源，但又需維持高粱產量及品質，故調控高粱栽培的用水量分配非常重要。透過研究高粱生育期需水量及建立灌溉指引，可提升高粱的水分利用效率。

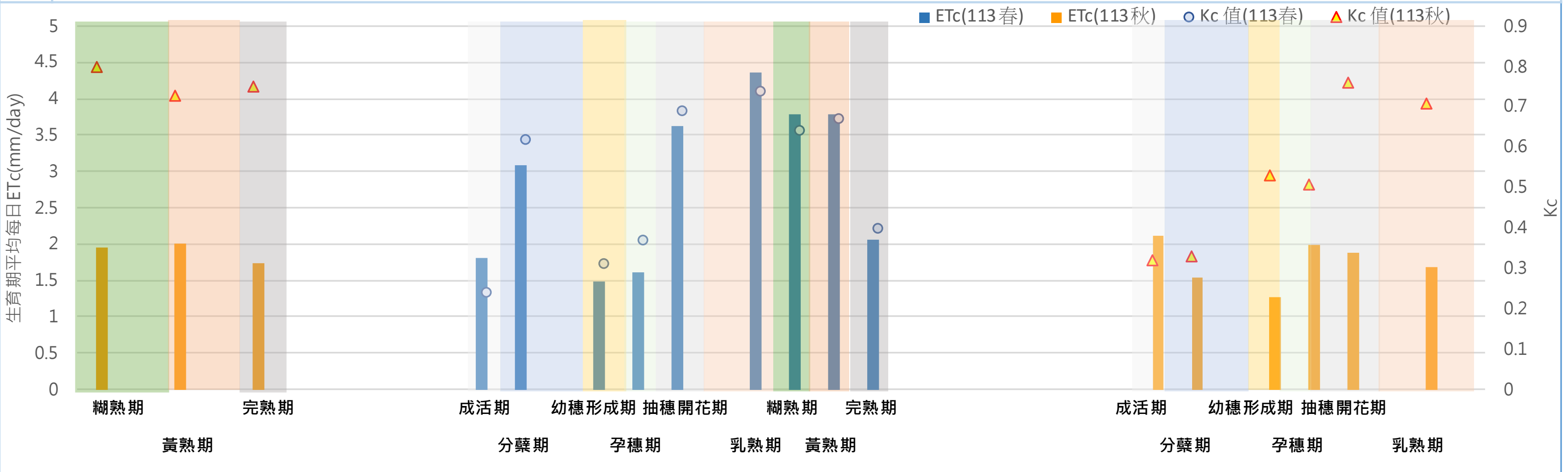
高粱

地區(地理位置)：嘉義縣朴子市　面積：0.6公頃　土壤質地：壤土　灌溉方式：溝灌　　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

積溫：
723.4 ℃　772.45 ℃　春作：35.6 ℃ 469.1 ℃ 627.5 ℃ 706.6 ℃ 755.7 ℃　秋作：34.3℃ 476.8 ℃ 671.7 ℃
750.55 ℃　419.1 ℃ 512.6 ℃　686.4 ℃ 737 ℃　369.7 ℃ 520.35 ℃　715.5 ℃

基礎溫度：15℃



生育期	灌溉操作建議
成活期	春作/秋作-建議種植前約 1-2 週灌溉 1 次、每次灌溉 30-40 mm，以利後續整地播種時，維持良好出土率。
分蘗期	春作-建議灌溉 1 次、每次灌溉 34 mm；秋作-建議灌溉 1 次、每次灌溉 12 mm。
幼穗形成期	春作-建議灌溉 1 次、每次灌溉 27 mm；秋作-建議灌溉 1 次、每次灌溉 15 mm。
抽穗開花期	開花-乳熟期為需水臨界期，是對水分需求最敏感時期。 春作-建議每 10 日灌溉 1 次、每次灌溉 33 mm；秋作-建議每 10 日灌溉 1 次，每次灌溉 15 mm。
糊熟期	建議停止灌溉、加強田區排水、保持乾燥。

執行單位：農業部臺南區農業改良場朴子分場　計畫主持人：張庭禎助理研究員

圖四、灌溉指引圖-高粱 (詳附錄 8)。

8. 落花生

農業部農業試驗所作物組/李欣叡/助理研究員

8.1 作物概述

落花生 (*Arachis hypogaea* L.) 為臺灣重要雜糧之一，是豆科落花生屬一年生草本植物，其開花後子房柄伸長入土中，發育成莢果的特性，故一般又稱為「土豆」，為日常飲食的重要來源。臺灣地處熱帶與亞熱帶氣候，1 年可種植 2 個期作，113 年國內栽培面積為 17,190 公頃，年產量 41,472 公噸，主要栽培地區分佈在雲林、彰化及嘉義，其中又以雲林地區為最大宗，面積與產量均佔全臺 7 成以上。大部分臺灣落花生品種，性狀型態為西班牙型，植株直立不易倒伏。為建立落花生基礎用水資訊，本試驗採用具有代表性的西班牙型品種台農 11 號進行研究。

8.2 栽培環境

本試驗田區位於臺中市霧峰區，113 年試驗期間春作日均溫為 24.6℃，累積降雨量約為 454 mm；秋作日均溫為 24.9℃，累積降約為 396 mm。

落花生適合在排水良好且富含有機質的土壤種植，本試驗田區之土壤質地為砂質壤土，砂粒占 53.89%、坋粒 35.91%、黏粒 10.20%，總體密度 1.31 g/cm^3，有效水分含量為 187 mm/m。

落花生性喜溫暖，適合生長溫度為 25-35℃，低溫將使發芽率降低並抑制生長。因此避開臺灣冬季，一般春作種植時節為 2-3 月，如配合冬季裡作將栽種時間延後，易於收穫時節遭遇颱風，秋作種植月份則為 8 月上旬至 9 月上旬。

8.3 灌溉指引

落花生採作畦栽培 (圖一)，有利於雨季排水，灌溉方式為溝灌。

生育期可依生長狀態分為 4 個主要階段 : 生育初期 (播種後至 10% 植冠覆蓋率)、生長期 (10-70% 植冠覆蓋率) (圖二)、生育中期 (70% 植冠覆蓋率至葉片開始黃化) 及生育後期 (葉片開始黃化至收穫期)。亦可採用積溫方式推斷生育階段，春作時積溫達 251℃ 轉換為生長期，達 661℃ 後為生育中期，1,327℃ 後為生育後期；秋作時積溫達 280℃ 轉換為生長期，達 885℃ 後為生育中期，1,395℃ 後為生育後期。不同階段對水分之敏感性與需求量有差異，應配合生長狀況與環境條件管理灌溉方式。本試驗的田間數據結合氣象資料與各生育期作物係數 (Kc)，計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量。

圖一、落花生採作畦栽培和溝灌方式。

圖二、落花生植冠覆蓋土表比率達 10% (左圖) 及 70% (右圖)。

- 生育初期植株尚幼小的水分需求量較低，但為使灌溉均勻，灌溉時應注意水分均勻流至田區各處，並適時疏通地勢較高處之灌溉溝 (圖三)。播種後如遇高溫，可適時灌溉使幼苗順利出土並使發芽勢一致，建議春作每 14 日灌溉 1 次，每次 29 mm；秋作播種時溫度較高，建議每 7 日灌溉 1 次，每次 33 mm。

- 生長期建議春作每 10 日灌溉 1 次，每次 31 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 32 mm。
- 生育中期為開花後子房柄入土之下針時期，此時為結莢充實的關鍵時期，亦為水分敏感時期，應注意維持土壤濕度，建議春作每 10 日灌溉 1 次，每次 35 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 30 mm。
- 生育後期葉部開始黃化，春作建議每 10 日灌溉 1 次，每次 40 mm，秋作每 14 日灌溉 1 次，每次 33 mm。如遇降雨，則斟酌減少灌溉次數，並注意田間排水，避免莢果長期泡水，造成莢果潰爛並莢上發芽，降低產量與品質 (圖四)。

圖三、地勢較高處之溝渠，應適時人工疏通，
以利灌溉水流通，減少用水量。

圖四、正常生長的籽粒 (左)，
與遭遇長期泡水的籽粒 (右)。

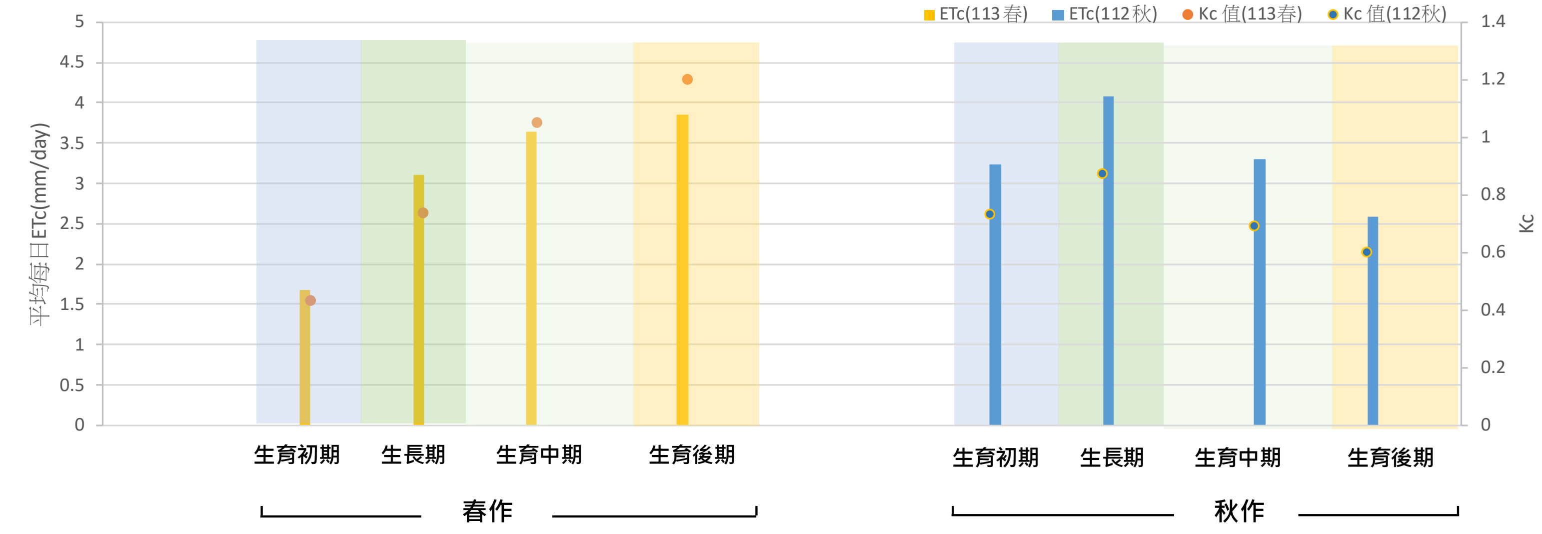
8.4 結語

落花生的生產穩定與品質提升，有賴於良好的灌溉管理。春作與秋作因環境條件迥異，灌溉頻率與水量應隨之調整，尤其在結莢時期水分敏感階段，更需密切注意水分供應，以確保產量與品質。本指引依據不同季節生育期的生理特性與水分需求，提出具體灌溉建議 (圖五)，並結合氣候與土壤條件加以調整，提升水資源使用效率，可作為落花生栽培管理的重要參考依據。

落花生

地區(地理位置)：台中市霧峰區-農試所　面積：1.1公頃　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：溝灌　　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
積溫	基礎溫度：10℃		251℃	661℃	1,327℃	1,828℃			280℃	885℃	1,395℃	1,670℃



生育期	灌溉操作建議
生育初期	無雨情境下建議春作每 14 日灌溉 1 次，每次 29 mm；秋作每 7 日灌溉 1 次，每次 33 mm。
生長期	無雨情境下建議春作每 10 日灌溉 1 次，每次 31 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 32 mm。
生育中期	**生育中期為水分需求敏感時期**。無雨情境下建議春作每 10 日灌溉 1 次，每次 35 mm；秋作每 10 日灌溉 1 次，每次 30 mm。
生育後期	無雨情境下建議春作每 10 日灌溉 1 次，每次 40 mm；秋作每 14 日灌溉 1 次，每次 33 mm。

執行單位：農業部農業試驗所　計畫主持人：李欣叡 助理研究員

圖五、灌溉指引圖-落花生 (詳附錄 9)。

9. 花椰菜

農業部臺中區農業改良場/錢昌聖/副研究員、廖崇億/助理研究員

9.1 作物概述

花椰菜（*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.）為十字花科蕓薹屬一年生蔬菜，性喜冷涼乾燥氣候，最適生長溫度為 15-20°C，主要食用部位的花球，是由未分化完成的花苞所聚合。花椰菜為臺灣重要的大宗蔬菜作物，品種多樣，全年皆可栽培，主要栽培品種為夏雲、白花 40 天、鳳玉、55 天花菜、青梗 35 天、瑞農 40 天、台農 1 號及鳳山 2 號等。113 年國內栽培面積為 1,266 公頃，年產量 33,084 公噸，主要產區為彰化地區，約占國內栽培面積 65%。

花椰菜生育期間對水分需求高且極為敏感，若遭遇乾旱或淹水，常造成植株生育受阻，並嚴重影響產量與品質。栽培期間若遇乾旱，植株因缺水而氣孔關閉、光合作用受阻，導致葉片萎凋、生長停滯，花球小且鬆散 (圖一) ; 若遭遇淹水，則因根系缺氧造成萎凋、腐爛，植株黃化早枯，並易誘發病害發生，影響花球發育與商品性 (圖二)。

圖一、花椰菜植株因乾旱，
造成散花及主莖空心。

圖二、花椰菜植株因淹水，
造成根系缺氧而萎凋。

9.2 栽培環境

試驗田區位於彰化縣大村鄉，土質地為壤土，有機質含量 1.86%、有效水分含量約 20% (Vwater/Vsoil)。113 年試驗期間平均氣溫 24.3℃、最高氣溫 37℃ (7 月)、最低氣溫 7.2℃ (1 月) ; 全年累積降雨量 1,548 mm，以 9 月 303.5 mm 最多。

花椰菜全年可栽種，早生品種較為耐熱可於 7-9 月間播種育苗，中生品種在 9-10 月間播種育苗，晚生品種則約在 10-12 月間播種育苗 ; 極早生品種較早生品種更為耐熱，可提前於 5-8 月間播種育苗，中早生品種播時間介於早生品種與中生品種間，中晚生品種播種時間則介於中生品種與晚生品種間。

9.3 灌溉指引

灌溉方式 : 作畦淹灌。

花椰菜畦面寬約 1.4 m、溝寬約 0.4 m (溝底約 0.3 m 寬)、溝深約 0.2 m ; 每公頃可種植 30,000-33,000 株，以 100 m × 100 m 見方田區，共約 56 畦。本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖三)。

- 幼苗期在種植後 20 日內需先供應充足水量，保持幼苗根系可汲取水分之狀況，淹灌水深約 15 cm，初次每公頃供水量約需 (0.4 m + 0.3 m) ÷ 2 × 100 m × 56 × 0.15 m ≒ 29.4 mm，中細質地土壤依氣候差異可保持約 10-20 日土壤濕潤，水分可因毛細作用上升至根域，並供應花椰菜幼苗期生長之需水量，可視作前降雨及土壤濕潤狀況減少灌水，主要注意表層 5 cm 深處土壤維持濕潤狀態，依春、夏、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 3.6、5.2、4.4、2.2 mm ; 若無降雨需再補水 1 次，幼苗期總需水量共約 41-88 mm。

- 花球創始期是指定植 20-35 日間，此時期保持充足水分可有助於花芽生長發育，並注意雨季將強排水，避免根系浸水，依春、夏、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 3.6、4.3、3.3、2.3 mm ; 若無降雨，冬季每 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次，花球創始期總需水量共約 34-74 mm。

- 花球發育期在定植 35-65 日花椰菜進入，此時對環境乾濕耐性較高，但維持充足水分有助於穩定產量與品質，依春、夏、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 3.6、4.9、2.9、2.6 mm，若無降雨，冬季每 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次，花球發育期總需水量共約 80-140 mm。

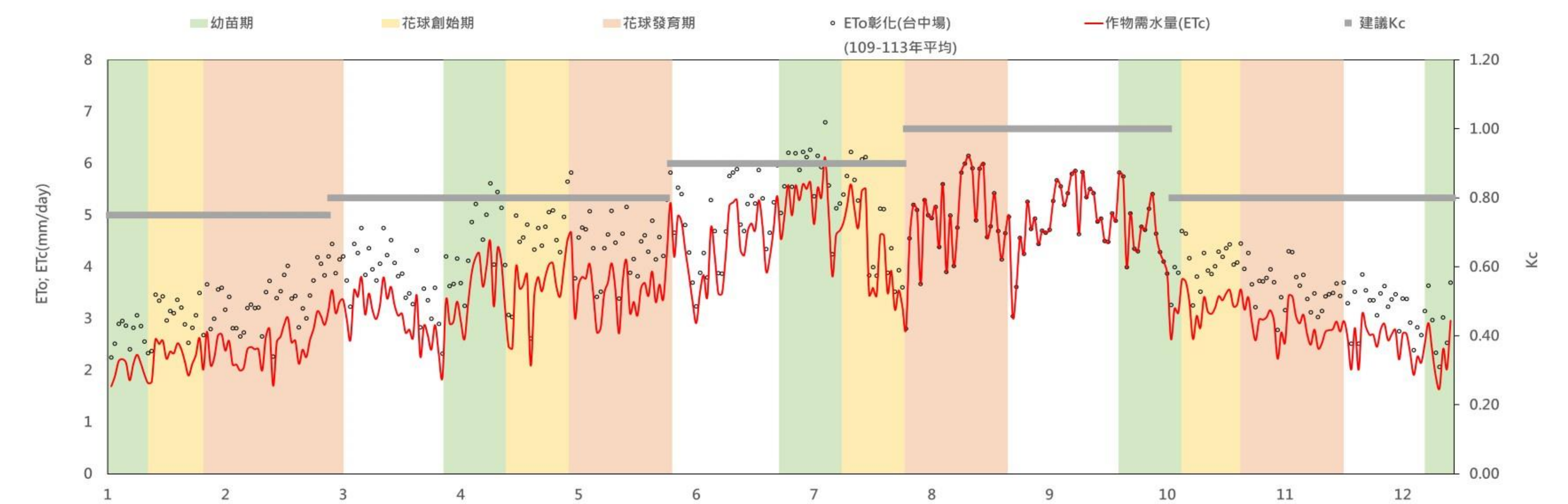
臺灣中部每年 4-10 月為梅雨季、颱風季等汛期，每旬累積降雨量常可高於對應時期需水量，無須額外灌溉，可配合水分張力計判斷給水時機，建議給水時機為閾值 -40 kPa；而 9 月中旬到次年 4 月中旬通常降雨量低，為主要灌溉管理時期，依據作物需水量給水，可避免過多的水分經由滲漏流失，提升水資源利用效率。中部平地地區花椰菜每日作物需水量平均 3.6 mm ; 若遇到乾旱，以每旬灌溉 1 次下，需要 36 mm 水量，屬中用水量生產作物，大面積栽培需考慮供水來源。

9.4 結語

根據不同生育期與天氣條件建立花椰菜灌溉指引，可精準掌握花椰菜的實際需水量，不但較慣行方式減少 5-19% 的灌溉用水，顯著提升水資源利用效率，亦提供因應氣候變遷的策略建議，於秋、冬等乾旱期間可有效預測需水量，而雨季期間則建議配合土壤水分或張力感測設備進行即時判斷，避免因降雨不均導致灌溉過量或不足。花椰菜灌溉指引也可作為灌配水與儲水調度決策之依據，藉由每旬 Kc 與 ETc 推估結果，結合當地歷年平均降雨資料，推算最低儲水需求，提供農政單位與水資源管理機關調整灌溉區域供水量時的重要參考。

花椰菜

地區(地理位置)：彰化縣大村鄉　面積：0.25公頃(30,000株/公頃)　土壤質地：壤土　灌溉方式：露天/作畦淹灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
全生育期	中部平地地區花椰菜多採作畦淹灌方式種植，各季生長期依品種約在 50-65 日，生長期作物係數 (Kc) 差異不明顯， 僅依季節 (或是適栽品種) 有所差異，冬季、春夏季、秋季之 Kc 值範圍約在 0.75-0.80、0.80-1.05、0.85-1.00。 中部地區在近 5 年每日平均蒸發散量 (ETo) 變化 為2.06-6.08 mm 間，透過各季預計無降雨日數 ETo 乘以 Kc 計算需水量 (ETc)。
幼苗期 (0-20 日)	幼苗移植後 2 週內，盡可能保持溝內有水或高含水量，以利根系生長； 若砂質土，水面至畦頂宜維持在 15 cm 內，中質地或細質地溝底盡可能保持有水，需水量依季節差異需求約 41-88 mm。
花球創始期 (20-35 日)	移植後約 3-6 週，維持充足水分，可有助於花芽分化生長發育，注意雨季將強排水，避免根系長期浸水， 需水量依季節差異需求約 34-74 mm。若無降雨，冬季 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次。
花球發育期 (35-65 日)	此時對於乾溼環境耐性較高，但維持充足水分有助於穩定產量與品質。該時期合計需水量依季節差異需求約 80-140 mm。 若無降雨，冬季 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次。

執行單位：農業部臺中區農業改良場　計畫主持人：錢昌聖副研究員、廖崇億助理研究員

圖三、灌溉指引圖-花椰菜。

10. 甘藍

農業部臺中區農業改良場/錢昌聖/副研究員、廖崇億/助理研究員

10.1 作物概述

甘藍（*Brassica oleracea* var. *capitata* L.）為十字花科甘藍屬一年生蔬菜，俗稱高麗菜、包心菜、捲心菜、玻璃菜等，性喜冷涼氣候，最適生長溫度為 13-20°C，主要食用部位為緊密捲曲而成的葉球。甘藍為國內栽培面積最為廣泛的蔬菜，主要栽培品種為初秋、春秋、夏峰、雪翠、臺中 1 號、臺中 2 號、大蕊及 228 等。113 年國內栽培面積為 8,105 公頃，年產量 408,767 公噸，平地產區以雲林及彰化居多，約占國內栽培面積 32%；高冷地產區則以南投及宜蘭為主，約占國內栽培面積 30%。

甘藍生育期間對水分需求高且極為敏感，若遭遇乾旱或淹水，常造成植株生育受阻，並嚴重影響產量與品質。栽培期間遭遇乾旱，會使甘藍植株因缺水而氣孔關閉、光合作用受阻，導致葉片萎凋、結球小且鬆散 (圖一)；淹水則因根系缺氧造成萎凋、腐爛，植株黃化早枯，並誘發病害發生 (圖二)。

圖一、甘藍植株因乾旱、高溫導致葉片枯萎。

圖二、甘藍植株因淹水造成根系缺氧而萎凋。

10.2 栽培環境

試驗田區位於為彰化縣大村鄉，土質地為壤土，有機質含量 1.86%、有效水分含量約 20% (Vwater/Vsoil)，114 年試驗期間平均氣溫 22.6℃、最高氣溫 36.5℃ (7 月)、最低氣溫 7.5℃ (1 月)；全年累積降雨量 1,760 mm，以 7 月 645 mm 最多。

國內甘藍全年可栽種，依栽培品種生育特性可區分為不耐熱品種及耐熱品種，其中不耐熱品種以初秋為最大宗，雲林及彰化等平地產區栽種期為秋冬季 (10 月至翌年 3 月)，南投及宜蘭等高冷地產區則為夏季 (4-9 月)。耐熱品種又以臺中 2 號栽種面積最多，栽培期集中在平地產區的夏季 (4-9 月)。

10.3 灌溉指引

灌溉方式：作畦淹灌。

甘藍畦面寬約 1.4 m、溝寬約 0.4 m (溝底約 0.3 m 寬)、溝深約 0.2 m；每公頃可種植 30,000-33,000 株，以 100 m × 100 m 見方田區，共約 56 畦，本試驗的田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖三)。

- 幼苗期在種植後 25 日內之需先供應充足水量，保持幼苗根系可汲取水分狀況，約需淹灌 15 cm 水深，初次每公頃供水量約需 (0.4 m + 0.3 m) ÷ 2 × 100 m × 56 × 0.15 m ≒ 29.4 mm，中細質地土壤依氣候差異可保持約 10-20 日土壤濕潤，水分可因毛細作用上升至根域，並供應甘藍幼苗期生長之需水量，可視作前降雨及土壤濕潤狀況減少灌水，主要注意表層 5 cm 深處土壤維持濕潤狀態，依春、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 3.5、5.2、2.2 mm；若無降雨需再補水 1-2 次，幼苗期總需水量共約 41-103 mm。

- 蓮座期是指定植 25-45 日，此時期保持充足水分可有助於生長發育，注意雨季將強排水，避免根系浸水，依春、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 3.6、4.1、2.3 mm；若無降雨，冬季每 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次，蓮座期總需水量共約 58-102 mm。
- 結球期在定植 45-72 日，此時對於環境乾濕耐性較高，但維持充足水分有助於穩定產量與品質，依春、秋、冬生長季差異，每日作物需水量約 4.2、2.9、2.7 mm；若無降雨，冬季每 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次，結球期總需水量共約 80-130 mm。

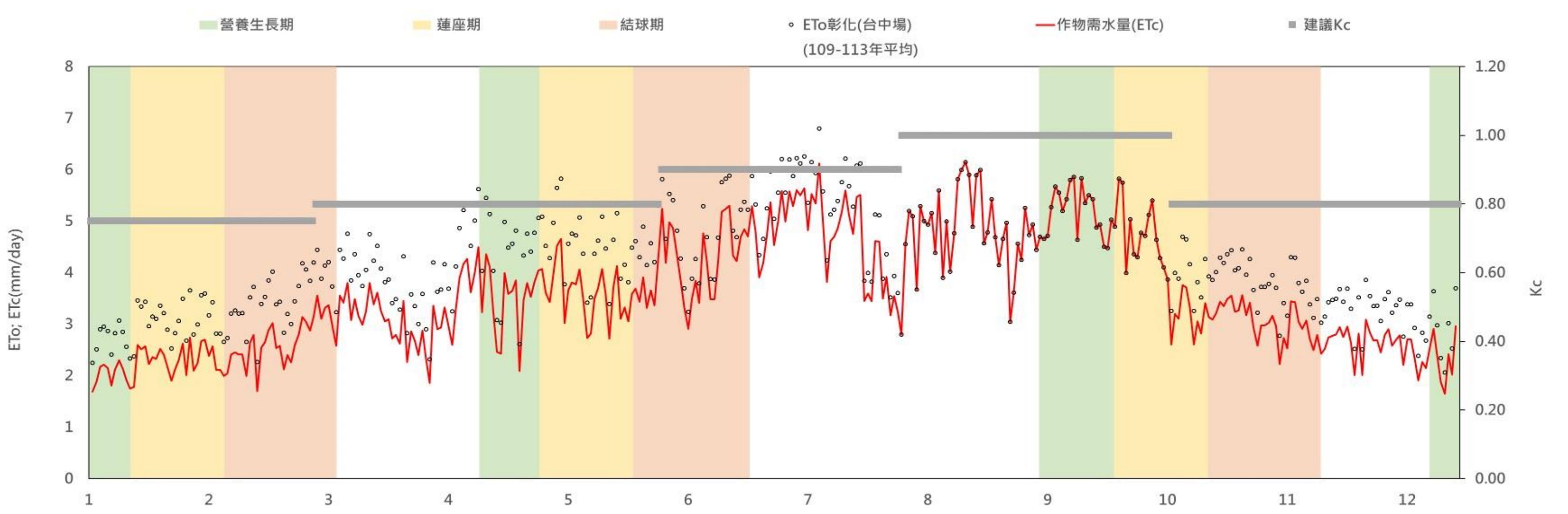
臺灣中部每年 4-10 月為梅雨季、颱風季等汛期，每旬累積降雨量常可高於對應時期需水量，無須額外灌溉，可配合水分張力計判斷給水時機，建議給水時機為閾值 -40 kPa，後期可至 -60 kPa；而 9 月中旬到次年 4 月中旬通常降雨量低，為主要灌溉管理時期，依據作物需水量給水，可避免過多的水分經由滲漏流失，提升水資源利用效率。中部平地地區甘藍每日作物需水量平均 3.6 mm；若遇到乾旱，以每旬灌溉 1 次下，需要 36 mm 水量，屬中用水量生產作物，大面積栽培需考慮供水來源。

10.4 結語

本研究建立之甘藍作物灌溉指引，每期作平均可較慣行灌溉方式減少 12-20% 的用水量，顯著提升水資源使用效率與作物水分管理精準度。此外，於春、秋兩期作試驗中，甘藍'初秋'及'臺中 2 號'等品種在作物需水量推估法下之葉面積、葉球重量與光合作用指標均優於慣行處理，證實推估之灌溉量可兼顧節水與產量穩定，有助減緩水分逆境造成之生育停滯，並提升作物對環境變異的調適能力。甘藍灌溉指引亦提供灌配水調度與儲水需求預估的依據，結合歷年雨量資料及每旬 Kc 值，可作為農政單位與農民因應乾旱與降雨不均的決策輔助工具。

甘藍

地區(地理位置)：彰化縣大村鄉　面積：0.25公頃 (30,000顆/公頃)　土壤質地：壤土　灌溉方式：露天/作畦淹灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
全生育期	中部平地地區甘藍多採作畦淹灌方式種植，各季生長期依品種約在 65-75 日，生長期作物係數 (Kc) 差異不明顯，僅依季節 (或是適栽品種) 有所差異，冬季-春夏季-秋季 Kc 值範圍約在 0.75-0.80、0.80-1.05、0.85-1.00。中部地區在近 5 年每日平均蒸發散量 (ETo) 變化為 2.06-6.08 mm 間，透過各季預計無降雨日數 ETo 乘以 Kc 計算需水量 (ETc)。
營養生長期 (第 0-25 日)	幼苗移植後 2 週內，盡可能保持溝內有水或高土壤含水量，以利根系生長；若砂質土，水面至畦頂宜維持在 15 cm 內，中質地或細質地溝底盡可能保持有水。2 週後，若無降雨，冬季每 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次。需水量依季節差異需求約 41-103 mm。
蓮座期 (第 25-45 日)	移植後約 3-6 週，維持充足水份，可有助於花芽分化生長發育，注意雨季將強排水，避免根系長期浸水。需水量依季節差異需求約 58-102 mm。若無降雨，冬季 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次。
結球期 (第 45-72 日)	此時對於乾溼環境耐性較高，但維持充足水分有助於穩定產量與品質。需水量依季節差異需求約 80-130 mm。若無降雨，冬季 10-15 日灌溉 1 次，夏季 5-10 日灌溉 1 次。

執行單位：農業部臺中區農業改良場　計畫主持人：錢昌聖副研究員、廖崇億助理研究員

圖三、灌溉指引圖-甘藍。

11. 香蕉 (新植)

農業部農業試驗所作物組/王維晨、林詠洲/助理研究員
農業部農業試驗所農業化學組/蔡耀賢/助理研究員
財團法人台灣香蕉研究所生理生化組/林忠逸/副研究員兼主任

11.1 作物概述

香蕉及大蕉 (煮食蕉) 為世界重要糧食作物，在臺灣香蕉則以鮮食為主，是國內熱帶果樹中栽培面積第二大的作物，113 年全臺種植面積約 14,803 公頃，單位面積產量為 19,490 kg/公頃，總產量達 279,348 公噸，主要種植地區依種植面積大小依序為屏東、南投、嘉義及高雄。臺蕉 1 號選 (烏龍蕉) 為目前種植大宗，占主要產區面積達 8 成以上，植株生長高大又以宿根栽培株高達 3 m 以上，全年可種植為主要內外銷品種。國內香蕉外銷日本的旺季為每年 2-6 月及 9-11 月，其中 2-6 月外銷量占全年總量的 9 成以上，主要供應來自高屏及其他地區的平地香蕉；而 9-11 月出口的香蕉則多產自中部地區的平地與坡地。本試驗以臺蕉 1 號選 (烏龍蕉) 進行研究。

11.2 栽培環境

香蕉為一年生熱帶至亞熱帶草本作物，適應力強且生長快速，全臺各地大多皆適合種植，並能全年持續生產。因其葉片巨大，需水甚多，應選具備水源之灌溉地以易調節產期。適合香蕉栽培的理想土壤條件包括：土層深厚，含有豐富的有機質，表層及土壤內部排水性良好，且地下水位需離地面最少 1 m 以上，應於種植前規劃灌溉排水系統。此外，土壤質地分類為壤土且黏粒含量不超過 40% 較為適宜。

本試驗蕉園位於屏東縣枋寮鄉，土質為壤土，有機質含量約 3.8%。111 年 8 月至 112 年 7 月試驗期間平均氣溫 24.5℃、最高氣溫 35.5℃ (6 月)、最低氣溫 9.3℃ (1 月)；總降雨量 835 mm，以 112 年 6 月降雨量最多，月累積降雨量 316 mm。

為方便大型農機具進出與採收作業，試驗園區採慣行寬行 3.6-4.8 m、窄行 1.6-1.8 m、株距 1.6-1.8 m 的三角形高畦寬窄行種植。香蕉葉面積大且水分蒸散快速，為淺根不耐旱作物。假莖、果實等含水量高，好水但不淹水，應避免積水達 24 小時。種植香蕉前應以機械深耕至少 30 cm，以破除犁底層或不透水層，促進土壤向下排水，避免雨季時積水影響植株與根系發育。在短期內排水不良的地區種植如有淹水或積水疑慮，應在整地時建立至少 30 cm 高的畦面，並同步規劃完善的灌排水系統以防止香蕉遭受淹水逆境。

南部地區種植適期為 2 月下旬至 5 月間，可在 2-6 月生產冬蕉、春蕉及夏蕉。中部及東部地區因冬季氣溫較低，適合在 2-4 月上旬種植。至於中部坡地的香蕉區多採宿根栽培，如種植'臺蕉 5 號'、'北蕉'、'臺蕉 2 號'或'臺蕉 1 號選 (烏龍)'品種以供應 9-11 月的秋蕉，宜在 9-10 月間留萌。

圖一、蕉園以三角形高畦寬窄行種植，方便大型農機具操作與進出，
並將水帶放置於窄行中間進行噴灌。

11.3 灌溉指引

為避免水分灌溉不均、黃葉病隨土壤水分擴散及減少用水浪費，香蕉灌溉方式應避免採用溝灌或淹灌，建議使用噴灌或滴灌。坡地蕉園可採固定式噴頭灌溉，平地蕉園則可使用 PE 多孔軟管水帶進行噴灌，可節省人力、時間及用水量，唯其噴水高度不宜超過 1 m，以減輕葉部病害的傳布 (如黑星病)，或以滴灌管路進行灌溉則更為理想。若採管路灌溉，需特別注意水質，以防出水孔阻塞，並應定期巡視，檢查管路是否因老化脆裂或機械外力而受損，避免造成水壓不穩或漏水，進而影響灌溉均勻度與施灌效率。

圖二、蕉園以滴灌管路進行灌溉配置及香蕉生長情形。

在初夏雨季尚未開始或冬季乾旱時期，應特別加強灌溉供水，尤以中南部產區每年均幾個月乾旱，應特別注意灌溉。每次灌溉量足夠深以使根圈土壤保持濕潤為原則，灌溉深度太淺易導致根系集中於土壤淺層，當遭遇強風時容易倒伏。灌溉用量應配合氣候條件調整，避免植株遭受乾旱或淹水逆境，尤其在幼苗定植初期、花芽分化階段 (中株期植株株高達 180-190 cm 左右) 至抽穗、果房發育階段皆需特別注意。缺水對蕉株生長極為不利，導致歉收且品質下降，尤其高屏產區生產 2-5 月冬春蕉外銷，冬春旱季需依賴灌溉。香蕉全生育期平均每月需水量約 100-120 mm (每週約 25-30 mm)，在雨季則可依情況停止灌溉，幼苗期因根系尚淺，可適度減少灌溉量、並同時增加灌溉頻率以增加苗期存活率。

本試驗田間數據結合氣象資料，參考蒸發散量 (ETo) 與各生育期作物係數 (Kc) 計算出各生育期作物需水量 (ETc) 並進而推估灌溉量 (圖三)。並就常見之高屏地區無雨、水帶噴灌、壤土及土深 40 cm 情境下，依香蕉四個主要生育階段提供灌溉建議：

- 幼苗期 (株高 150 cm 以下) 於定植初期為水分需求敏感時期，缺水易導致植株直接死亡、田間缺株，建議依植株高度調整灌溉量及頻率，株高越高則逐步延長灌溉間隔、並同時增加灌溉深度。每 1-9 日灌溉 1 次、每次 4-21 mm。一般吸芽苗 2 週灌溉 40 mm 即可，但組培苗因初期生長較弱，且常因蒸散量過大導致失水、葉片生長受阻，植後初期 1 個月內應予縮短灌溉間隔，至少 1 週灌溉 1 次。
- 中株期 (株高 150 cm 以上) 期間包含對水分需求敏感之花芽分化階段，建議每 9-11 日灌溉 1 次、每次 22-31 mm。
- 抽穗期則建議每 8-9 日灌溉 1 次、每次 30-32 mm。
- 果實成熟期之果房發育階段水分過多或過少皆會影響果實品質，建議每 6-8 日灌溉 1 次、每次 29-32 mm。

除依天候及生育階段決定灌溉外，建議於香蕉根系集中之 30-45 cm 之土壤深度處埋設張力計，當監測土壤張力達到 -30 kPa 時 (0 kPa 為飽水狀態)，應及時灌溉以免遭受乾旱逆境，每次以使根圈土壤潮濕為原則。而土壤水分百分比 (%) 當達到乾旱時在不同土壤質地中會呈現不同的數值，故不宜作為判斷土壤乾旱程度之絕對標準，僅能作為乾濕程度的相對參考。

11.4 結語

香蕉以管路灌溉不僅能有效抑制黃葉病之擴散及雜草生長、減少水資源浪費，更能結合現行國內已開發的智慧灌溉系統，實現精準用水與自動化管理，達到省水、省工的目的。相較於傳統溝灌方式，管路灌溉可大幅降低因田間整地不平而造成的灌水不均，避免植株生長差異，穩定香蕉產量與品質。亦能節省大量人力與時間之田間管理成本，對農民具有實質經濟效益。此外，管路灌溉有助於減緩因過度取水或水資源配置不均所造成的環境壓力，其灌溉次數與水量應依據香蕉不同生育期及當下氣候狀況進行動態調整，方能兼顧植株生理需求與資源利用效率。透過香蕉水分之精準管理，能確保香蕉產業在全球市場競爭中具備更高的穩定性與永續發展潛力。

香蕉(新植)

地區(地理位置)：屏東縣枋寮鄉　面積：10公頃　土壤質地：壤土　灌溉方式：水帶噴灌　　(試驗場域實際試驗結果)

生育期	灌溉操作建議
幼苗期	幼苗定植初期為水分需求敏感時期。高屏地區無雨、水帶噴灌、壤土及土深 40 cm 情境下： 建議每 1-9 日灌溉 1 次、每次灌溉 4-21 mm [依植株高度調整，株高越高則逐步延長灌溉間隔、並增加灌溉深度]。
中株期	花芽分化階段為對水分需求敏感時期。高屏地區無雨、水帶噴灌、壤土及土深 40 cm 情境下： 建議每 9-11 日灌溉 1 次、每次灌溉 22-31 mm。
抽穗期	高屏地區無雨、水帶噴灌、壤土及土深 40 cm 情境下：建議每 8-9 日灌溉 1 次、每次灌溉 30-32 mm 。
果實成熟期	果房發育階段為對水分需求敏感時期。高屏地區無雨、水帶噴灌、壤土及土深40 cm情境下： 建議每 6-8 日灌溉 1 次、每次灌溉29-32 mm。

執行單位：農業部農業試驗所　計畫主持人：王維晨助理研究員

圖三、灌溉指引圖-香蕉 (新植)。

12. 番石榴

農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所/高碧霜/助理研究員

12.1 作物概述

番石榴（*Psidium guajava* L.）為桃金孃科（Myrtaceae）番石榴屬（*Psidium*）植物，原產於中、南美洲一帶，多年生常綠灌木或喬木。一般俗稱芭樂、拔仔、那拔等，適合栽培於南北緯 35 度內熱帶及亞熱帶地區；如臺灣、中國、馬來西亞、印尼、泰國、越南、印度、南非、埃及、巴西、墨西哥、澳洲等國均有栽培。在臺灣的栽培區域廣泛，為全臺灣栽培前 10 大的果樹之一，依據農糧署 113 年農業統計年報，全臺種植面積 8,029 公頃，總產量 165,484 公噸，前三大栽培縣市的面積分別為高雄 2,754 公頃、臺南 1,637 公頃、彰化 1,374 公頃，除全臺各縣市外，甚至離島金門亦有栽培。

番石榴品種不少，而果實可分為更年性及非更年性，更年性果實因果肉易軟，儲架壽命短等因素，市面上較少見，主流品種皆為非更年性；果肉又可分為白肉及紅肉等，本試驗調查的是非更年性白肉的「珍珠拔」品種。

12.2 栽培環境

試驗地區位於高雄市岡山區，試驗該區屬典型臺灣南部的氣候，夏季為主要雨季。試驗期間（112-113 年）雨量分布差異極大，112 年的主要降雨期集中在 6-10 月，降雨量僅約 1,131 mm，而 113 年的降雨期則自 4 月一直下到 11 月，降雨量高達 2,299 mm；其餘氣候資料則差異不大，112 至 113 年平均最低溫為 20.8 至 21.1℃，平均最高溫為 28.9 至 29.3℃，平均相對濕度 73 至 74%，平均風速皆為 1.7 m/s。

試驗田區 0-150 cm 土層為砂質壤土或壤土，0-40 cm 土壤的入滲速率為 2-26 mm/hr 之間，有效水分含量為 234 mm/m，pH 為 6.1-6.84，CEC 5.78-11.22 cmol/kg，有機質 1.31-5.25%，犁底層不明顯。

12.3 灌溉指引

灌溉方式：噴灌。

建議灌溉期距：每日–每週，依土質保水能力不同調整灌溉頻率。

因番石榴為週年採收的作物，各地區及生長期灌溉需求不同，謹提供以下灌溉原則供參 (圖一)：

- 植株生長發育期時營養生長旺盛，抽梢多，水分需求高，建議灌溉至 100% ETc 為宜，若灌溉超過 125% 或低於 50% ETc 下，營養生長受阻，抽梢數減少。
- 開花期的水分需求亦高，建議以 75-100% ETc 為宜，若灌溉超過 125% 易導致花芽數減少。
- 幼果期與果實肥大期時果實生長旺盛，水分需求也高，建議以 100% ETc 最佳。而果實成熟與採收期以累積糖分為主，此時建議微缺水，以 50-75% ETc 灌溉，果實品質較佳，過量供水易導致果實糖分下降。

表一、'珍珠拔'番石榴於高雄岡山試區作物蒸發散量 (ETc) 與作物係數 (Kc)

年	112		113		ETc 平均值	Kc 平均值
月	ETc mm/day	Kc	ETc mm/day	Kc		
1	1.61	0.50	1.51	0.47	1.6	0.49
2	1.79	0.45	2.11	0.55	2	0.50
3	2.19	0.45	2.05	0.41	2.1	0.43
4	2.43	0.42	2.20	0.38	2.3	0.40
5	2.61	0.43	2.55	0.41	2.6	0.42
6	3.16	0.49	3.84	0.59	3.5	0.54
7	3.61	0.55	3.60	0.56	3.6	0.56
8	3.22	0.54	3.10	0.51	3.2	0.53
9	3.20	0.59	3.36	0.60	3.3	0.60
10	2.61	0.56	2.61	0.58	2.6	0.57
11	2.01	0.53	2.07	0.56	2	0.55
12	1.53	0.51	1.49	0.48	1.5	0.50

以生育期為例說明如何應用作物蒸發散量資料。在番石榴的栽培作業中，3-11 月皆為抽梢期，若以 3 月為抽梢期，參考表一資料，3 月的 ETc 為 2.12 mm/day，此時建議灌溉 100% ETc，所以建議灌溉量為 2.12 mm/day，但抽梢期為 7 月，7 月的 ETc 為 3.6 mm/day，此時建議的灌溉量則為 3.6 mm/day。

開花期的建議灌溉量為 75-100% ETc，若開花期在 5 月，ETc 為 2.6 mm/day，建議灌溉 75-100% ETc，建議灌溉量為 1.95-2.6 mm/day。

同樣的，採收期在 6 月時，ETc 為 3.5 mm/day，採收期建議灌溉 50% ETc，實際建議灌溉量為 1.75 mm/day；若採收期為 12 月，ETc 為 1.5 mm/day，建議灌溉量為 0.75 mm/day，不同月份的溫度、風速、濕度、日照時數等氣候因子皆會影響作物蒸發散量，因此灌溉量亦不同。

此外，需注意另一個重要氣候因子—「雨量」，雨量也是影響灌溉量的重要因素。臺灣的降雨季節主要集中在夏季，若 7 月單日降雨量已超過 3.6 mm，表示當日所需的 3.6 mm 灌溉量已足夠，就不需再另行灌溉了。

關於灌溉頻率的估算，建議以田間的土壤保水特性來評估，通常砂土排水快，壤土次之，黏土最慢。因此種植在砂地時，可以少量多次的灌溉，確保植株得到充足的水量，而黏土則可適當拉長灌溉間隔，減少水分過多造成生長不良及管理資源浪費。至於單次灌溉量的估算，以 7 月時灌溉量 3.6 mm/day 為例，若在砂土地 2 日灌溉 1 次，則 3.6 × 2 = 7.2，單次灌溉量為 7.2 mm，若在黏土地 7 日灌溉 1 次，則 3.6 × 7 = 25.2，單次灌溉量為 25.2 mm。另外在無其他水源 (例如：下雨) 的狀況下，灌溉間隔盡量不要超過 2 週，因土壤保水能力有限，灌溉間隔倘若太長，通常會 1 次補充過多的水分，形成水分滲漏到根域以外的地方 (≧90 cm)，而造成部分的灌溉無效操作，應盡量避免這樣的灌溉管理。

12.4 蓄水設施容量建議

蓄水設施的容量主要依據現地栽培情況計算調整，需考慮的因素有栽培密度、灌溉方式、水源穩定度、現地土壤條件等。以下以噴灌方式灌溉每公頃種植約 520 株番石榴的田區為例來說明計算方式：

- 1 株灌溉面積 A1 (灌溉方式：噴灌)

  行距：5.5 m；株距：3.5 m (1 公頃約種植 520 株)

  A1 = 5.5 × 3.5 = 19.25 m^2/株

- 田間需水量 D：2.59 mm/day

  (本試驗 111 年 7 月-113 年 10 月之平均 ETc)

- 灌溉效率：噴灌的灌溉效率約為 85%

- 1 次灌溉水量 V1 = D × A1 × 株數 ÷ 灌溉效率

  = 2.59 × 10^{-3} m × 19.25 m^2 × 520 ÷ 85% = 30.5 m^3 (採 30 m^3)

  * 2.59 為 mm/day，需經 × 10^{-3} 轉換後才是水量一般慣用的「立方公尺 (度)」

- 貯蓄水設施容量 V2 = V1 × T (預留缺水或乾旱風險，如 T = 3 次)

  = 30 × 3 (次) = 90 m^3 (符合補助基準，採 100 m^3)

- 規劃容量：30 m^3 (1 次) 或 100 m^3 (3 次)

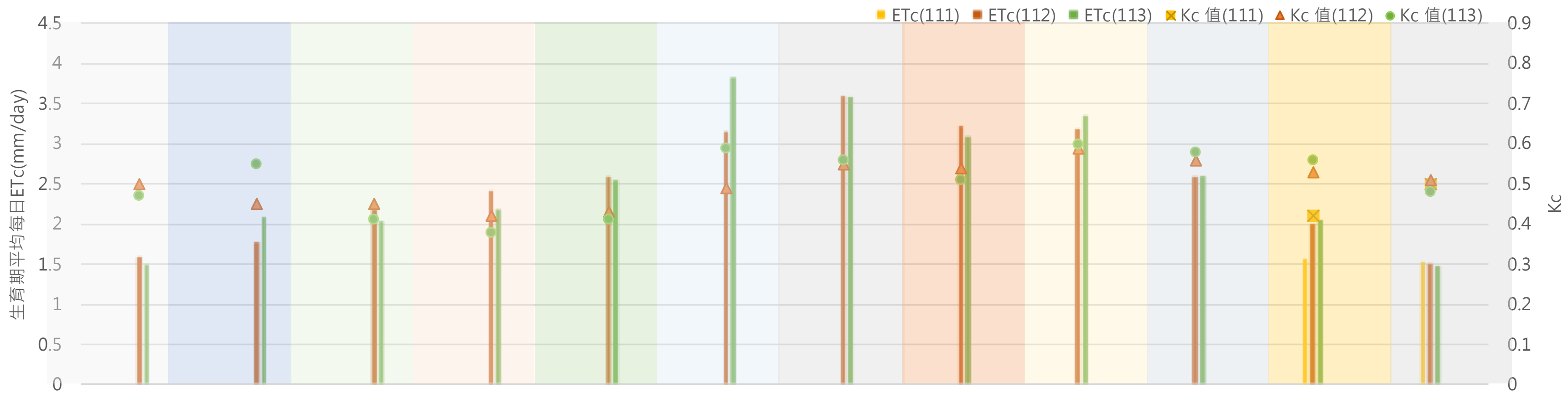
12.5 結語

良好的水分控制可以有效提升用水效率及增加果實品質。番石榴為全年皆可採收的作物，相較其他 1 年 1 收的果樹，持續採收讓灌溉作業更顯重要。因 ETc 為實際依照現地環境因子算出之作物蒸散量，所以在使用 ETc 數值當作指引，進行灌溉操作時，不論乾旱或高溫等異常氣候皆可精準估計出灌溉量，以維持植株最佳生長及果實品質。惟使用 ETc 為灌溉指引時，灌溉設備的建置與更新就相當重要，除控制系統需連線氣象資料計算外，供水管路的供水穩定度也十分重要，也就是說管路前後供水量需一致，這種灌溉方式才能達到最佳使用效益。

番石榴

地區(地理位置)：高雄市岡山區　面積：0.8 公頃 (520 顆/公頃)　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：露天/穿孔管　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



番石榴為全年皆可生產的作物，請依田間生育時期配合上圖 ETc 與 Kc 值資料，動態調整各生育期所需之灌溉量

生育期	灌溉操作建議
生長發育	生長發育期為生長旺盛期，水分需求高，建議灌溉時需補充至足夠的 ETc，以 100% ETc 最佳，超過 125% 易導致抽芽數減少。
開花	開花期水分需求高，建議灌溉時需補充至微缺至足夠的 ETc，以 75-100% ETc 最佳，超過 125% 易導致花芽數減少。
幼果期與果實肥大期	幼果期與果實肥大期生長快速，灌溉以 100% ETc 灌溉最佳。
果實成熟與採收	果實成熟與採收期建議微缺水，果實品質較佳，灌溉以 50-75% ETc 灌溉最佳。

執行單位：農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所　計畫主持人：高碧霜助理研究員

圖一、灌溉指引圖-番石榴 (詳附錄 10)。

13. 芒果

農業部臺南區農業改良場/石佩玉/助理研究員

13.1 作物概述

芒果 (*Mangifera indica* L.) 113 年全臺總生產面積 16,322 公頃，產量約 132,000 公噸，是僅次於檳榔之最大栽培面積果樹作物，主產區分布於臺南、屏東與高雄等地區，主力品種愛文、金煌、凱特等，為臺灣重要外銷旗艦作物。芒果植株生育期大致可分為抽梢期、停梢期、開花著果期、果實發育期及果實成熟期等階段，每個生育期的水分需求有所差異，如停梢期的低溫乾燥環境有利花芽分化；果實成熟期降低土壤含水量可提高甜度、提升品質；而開花著果期灌溉則有利於花穗生長、增加小花數量、提升開花率與著果率，適時灌溉可增加著果數及單果重量 (張和呂，1995)，故芒果週年生育過程中，以開花著果期至果實發育初期為最重要之灌溉時機，此時若春雨遲來或水分供應不足則可能影響果實膨大，影響果實商品價值。

13.2 栽培環境

臺灣枯水期通常在 11 月至隔年 4 月，芒果產區之夏季降雨較為豐沛，冬季降雨較少，秋冬季的低溫乾燥環境有利芒果花芽分化；但 2-4 月開花著果期在歷經冬季的乾燥氣候後，常面臨土壤較為乾燥的環境，此時若春雨遲來，花果期則需仰賴灌溉補充土壤水分以利生長。近年受到氣候變遷之影響，臺灣的降雨分布變得更加極端，臺南市芒果產區多分布於山區坡地，水源取得不易，果農常用蓄水池蒐集雨水或抽取地下水及溪流河水灌溉，故如何有效運用得來不易的水資源就顯得尤為重要。

早期關於芒果需水量之研究大多針對在單株產量之探討，較缺乏大面積尺度之研究。本試驗利用開放式二氧化碳水分通量分析系統，於臺南區農業改良場 (臺南市新化區) 芒果試驗園區進行全年度之果園蒸發散量調查工作，試驗園區為樹齡 20 年以上之成園植株，土壤 pH 值 7.3-8.1，表土 0-15 cm 有機質含量 3.86%，0-90 cm 為壤土，底層 90-150 cm 為坋質壤土，有效水分含量為 266 mm/meter。試驗期間為 111 年 8 月至 112 年 12 月，將有效數據之每日田間實際測得之作物蒸發散量 (ETc) 除以當日潛勢能蒸發散量 (ETo) 可求得每日之作物

係數 (Kc)，即 ETc = Kc × ETo，潛勢能蒸發散量 (ETo) 依據本場氣象站之氣象資料經由 FAO 公開軟體 CROPWAT 8.0 計算取得。

13.3 灌溉指引

灌溉需視氣候環境、土壤條件與樹冠大小等因素彈性調整，生長在乾旱地區的植株比生長在降雨充足地區的植株更需頻繁的灌溉；高溫和低濕環境提升蒸發散而增加水的需求；樹冠越大、葉片越多則需水量提升，故灌溉需視當下條件調整水量及頻率，灌溉前務必檢查土壤濕度，如感覺土壤潮濕，則無需灌溉。

新栽種的芒果苗株，約每 2-3 日灌溉 1 次直至根系拓展；5 年生以下之幼樹時期，可於生長季節每週灌溉 1-2 次，並配合枝梢生長建立樹型；成園之芒果植株原則上較耐旱，配合生育期進行水分管理：芒果採收後之枝梢培育期尚在雨季，原則上無需灌溉，若偶遇乾旱影響萌梢可適時補水；10 月進入秋冬季後氣溫降低、雨水減少，應停止灌溉促進枝梢成熟及防止抽梢，以促進花芽分化；隔年開花著果期和果實發育期為重要灌溉時期，若土壤水分缺乏，應灌溉補水以利果實生長；果實成熟期則無需太多水分 (黃和張，2019)。

臺南芒果產區多位於坡地，考量管路設置可行性、水質處理及灌溉效果等因素，目前多以噴灌為主。112 年試驗結果，每月之作物蒸發散量 (ETc) 與作物係數 (Kc) 如圖一，芒果 2-7 月為花果生育期，此時期之重要灌溉時期為 5 月硬核期之前，即 2 月花芽萌動到 5 月硬核期之間，可參考灌溉指引圖之 2-5 月生育期平均每日 ETc 進行灌溉，2-5 月 ETc 值為 1.6-3.3 mm/day，隨氣溫升高而增加，2-5 月之每日 ETc 平均值為 2.4 mm/day，此時期若久未降雨建議每日灌溉 1 次，依照月份及天氣狀況每次灌溉 1.6-3.3 mm，或每週灌溉 2-3 次，灌溉量為該月 ETc 平均值乘上日數區間。

13.4 蓄水設施容量建議

基於近年臺灣降雨分布變得更加極端，枯水期水源取得不易，鼓勵農友逐步建立貯蓄水設施，雖不能完全滿足花果生育期所需，但灌溉有助於果實膨大，增加商品價值，在降雨缺乏之年份，多少有利於提升果實品質。貯蓄水設施之規劃需考量水源取得、水質、過濾、加壓設備、管線配置及果園地理條件等因素，舉例說明，若行株距 5 × 4 m (每公頃 500 株) 的 1 公頃果園，以花果生育期 2-5 月之每日作物蒸發散量 (ETc) 平均值為 2.4 mm/day，灌溉效率 85% 之情形下計算，100 m^3 貯水設備可滿足果園花果生育期之 3 次灌溉。

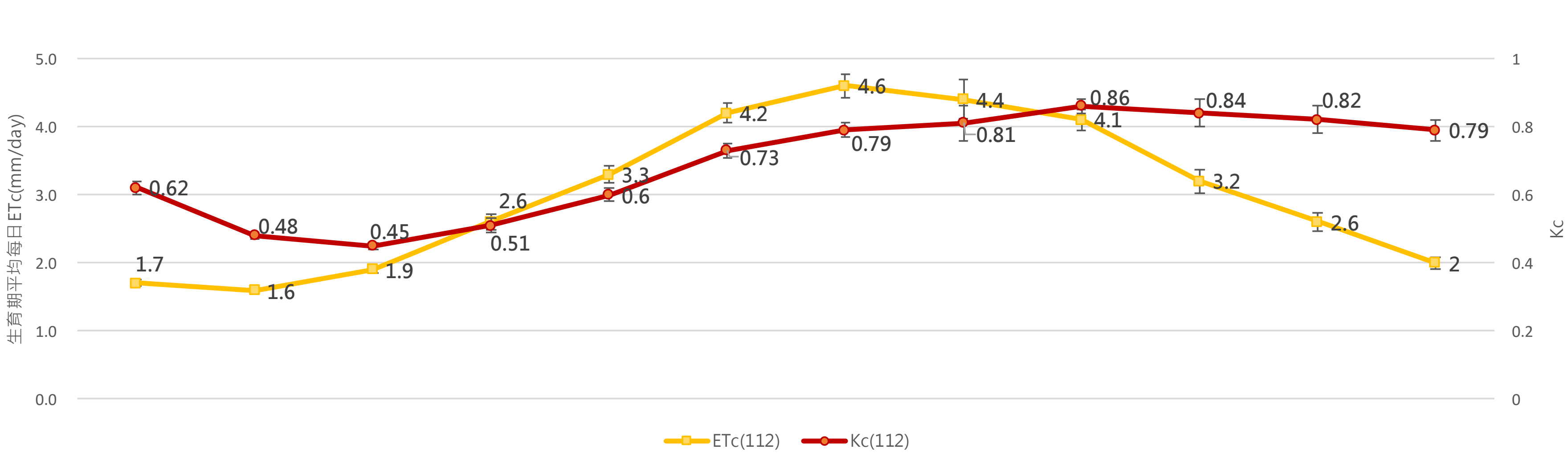
13.5 結語

芒果為深根性作物，雖較大多數作物耐旱，但臺南產區多位於坡地，水源取得不易，故若能於雨季貯水，供隔年花果生育期灌溉，將能帶動肥料與植體養分運送，有利增加果實商品價值。本計畫產出芒果各生育時期之作物係數 (Kc) 搭配氣象資料所運算之潛勢能蒸發散量 (ETo) 即可估算當下之作物蒸發散量 (ETc) 作為灌溉參考依據，使得來不易的水資源有效運用。規劃果園管路灌溉之外，也需注意土壤有機質含量、水土保持工法、及草生栽培等來減少土壤流失、增加水分滲透，以利地下水蓄積，達到涵養水源的目的，有利果園永續栽培經營。

芒果

地區(地理位置)：臺南市新化區　面積：0.5公頃(832顆/公頃)　土壤質地：壤土　灌溉方式：露天/微噴灌　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



生育期	灌溉操作建議
花果生育期	芒果 2-7 月為花果生育期，此時期之重要灌溉時期為 5 月硬核期之前，即 2 月花芽萌動到 5 月硬核期之間，可參考上圖之 2-5 月生育期平均每日 ETc 進行灌溉，2-5 月 ETc 值為 1.6-3.3 mm/day，隨氣溫升高而增加，若無降雨建議每日灌溉 1 次，依照月份及天氣狀況每次灌溉 1.6-3.3 mm，或每週灌溉 2-3 次，灌溉量為該月 ETc 平均值乘上日數間隔。

執行單位：農業部臺南區農業改良場　計畫主持人：石佩玉助理研究員

圖一、灌溉指引圖-芒果。

14. 柑橘

農業部苗栗區農業改良場/蔡正賢/副研究員

14.1 作物概述

柑橘為芸香科亞熱帶常綠果樹，因其風土適應性強，為臺灣栽培面積最多的果樹之一，柑橘作物主要為椪柑、桶柑及茂谷柑，椪柑主要栽培區在嘉義、臺中、臺南；桶柑主要栽培區在新竹、苗栗、臺中；茂谷柑主要栽培區在臺中、雲林、嘉義。

依據農糧署 113 年農情報告，椪柑栽培面積為 4,874.1 公頃，桶柑栽培面積 2,932.82 公頃，茂谷柑栽培面積 1,887.75 公頃。每公頃收量，椪柑約 19,082 kg，桶柑約 16,190 kg，茂谷柑約 17,693 kg。

14.2 栽培環境

試驗場域位於苗栗縣卓蘭鎮，緯度 24.3°N，海拔 550 m。柑橘品種為桶柑，樹齡 20 年，樹高約 2.5 m，行距 5.4 m，株距 4.5 m。113 年全年作物蒸發散量 1,340 mm，降雨量 2,195 mm，每月氣象資料與作物蒸發散量如表一，1-2 月氣溫、雨量皆低，柑橘採收、修剪，花芽分化；3 月起柑橘萌芽、開花，惟此時降雨情形不穩定，若雨量不足，需要灌溉以減少缺水的影響；4 月以後氣溫高於 20℃，果實著果，冠層開始發展，作物蒸發散量開始明顯增加；5-9 月是柑橘果實發育的時期，適逢氣溫開始逐月提高，作物蒸發散量於 6-7 月達到最高，整體而言，此階段雨量也較為充足；10 月以後開始果實轉色、成熟，由於日照變短，氣溫也隨之下降，作物蒸發散量少。

土壤有效水分含量調查結果如表二，深度 0-60 cm 土壤有效水分含量約 187 mm，田區土壤剖面及田區土壤滲漏能力等相關土壤特性分析之調查結果 (表三)，質地為壤土，3 個試體之總體密度介於 1.28-1.57 g/cm^3，最大值出現於 15-30 cm 深度，為土壤緻密層，該層的飽和導水度 0.0062 cm/sec 較低，水分的入滲受到阻礙，顯示每次灌溉水或降雨之入滲率不超過該層之 10 mm/hr。

表一、試驗場域 113 年各月份氣象資料與作物蒸發散量

月份	生育期	氣溫 ℃	降雨量 mm/day	參考蒸發散量(ETo) mm/day	作物蒸發散量 (ETc) mm/day
1 月	採收期	15.9	0.05	1.83	0.40
2 月	花芽分化期	17.9	0.99	2.85	0.63
3 月	萌芽開花期	19.4	1.21	3.20	1.18
4 月	結果期	24.9	7.3	3.95	3.88
5 月	結果期	25.3	5.19	3.79	5.09
6 月	果實發育期	27.9	12.9	4.89	6.40
7 月	果實發育期	28.4	19.4	5.38	5.69
8 月	果實肥大期	28.1	13	5.09	5.09
9 月	果實肥大期	27.3	12.9	4.58	4.58
10 月	果實肥大期	25.4	2.14	3.75	3.50
11 月	轉色期	21.8	3.57	2.68	2.68
12 月	成熟期	16.5	0.84	2.07	1.38

表二、土壤有效水分含量

深度 cm	重量水分含量 %			水分體積容量 %			土層厚度含水量 mm			有效水分含量 mm
	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	0.1 bar	0.33 bar	15 bar	
0-15	30.5	26.6	0.97	39.1	34.2	1.24	59	51	2	57
15-30	20.9	18.7	12.9	32.8	29.3	20.2	49	44	30	19
30-60	30.9	26.3	2.59	40.5	34.5	3.39	121	103	10	111

表三、土壤飽和導水度與入滲率

深度	CEC	質地				飽和導水度		總體密度	入滲率	
		砂粒	坋粒	黏粒	質地	流量平均	k 值			
cm	cmol/kg	%				mL/min	cm/s	g/cm^3	ml/s	mm/h
0-15	18.24	43.46	36.22	20.32	壤土	1.57	0.0130	1.28	0.65	75
15-30	13.57	41.70	32.88	25.42	壤土	0.90	0.0062	1.57	0.09	10
30-60	10.99	39.62	34.43	25.95	壤土	2.10	0.0149	1.31	2.03	233

14.3 灌溉指引

柑橘灌溉操作通常為噴灌，垂直管噴頭離地面約 60-90 cm 高，不同管路灌溉系統之灌溉效率，噴灌約 80-85%，微噴 (霧) 灌約 85-90%，滴灌約 90-95%，田間灌溉量 = 灌溉量 × 灌溉效率。

依據表三，每次噴灌水流量最好不超過土壤入滲速率之下限 10 mm/hr，以避免逕流損失，每次灌溉水量 10 mm 計算，灌溉時間約 60 分鐘。由於蓄水設施容量有限，柑橘每次灌溉量滿足 1-3 日的作物需水即可，約 5-10 mm，可以增加土壤吸收降雨的機會，1 分地面積 1 mm 水量約等於 1 公噸。有效的柑橘灌溉管理最好遵循以下步驟：

- 步驟 1、確定柑橘的根系深度以及有效水分含量

根深內有效水分含量代表土壤最大供水量，不同土壤的有效水分含量各不相同，取決於土壤質地、土壤構造和土壤有機質等。不同質地土壤每公分深度有效水分含量簡單估算如表四，該係數乘以根深即為根深內有效水分含量，以壤土為例，根深 75 cm，根深內有效水分含量 = 1.67 mm/cm × 75 cm = 125 mm。

表四、不同質地土壤每公分深度有效水分含量

質地	砂土	砂壤土	壤土	坋壤土 mm/cm	黏壤土	坋黏土	黏土
係數	0.21	1.21	1.67	2.00	2.00	1.58	1.50

- 步驟 2、定義各生長階段允許的土壤耗水限值

根深內土壤水分消耗越多，土壤水分張力越大，植物吸收水分就越困難，結果期及果實發育期土壤張力值設定為 30 kPa (向與唐，2021)，果實成熟期至採收，土壤張力值設定為 60-100 kPa 左右。土壤耗水限值可以用一個土壤有效水分含量之比例來表示 (蔡等人，2024)，比例越大，土壤越乾燥 (表五)。以步驟 1 之土壤為例，採收期至花芽分化前期允許土壤乾燥，將土壤耗水限值設定為土壤有效水分含量之 50% (62.5 mm)，此後為確保萌芽開花階段土壤濕潤，開始逐漸調至 32% (40 mm)；結果期至果實發育期為柑橘

關鍵生長期或用水高峰期時，為了最大限度地滿足作物需求，維持 32% 之比例；隨著果實接近成熟，可以加大土壤水分乾燥程度，比例逐漸調整至 50%，直至採收。

表五、土壤耗水比例及其對應之土壤水分張力

比例 (%)	23	32	40	50	57
土壤水分張力 (kPa)	20	30	40	60	100
描述	潮濕	濕潤	略乾	乾燥 但不缺水	輕微缺水

- 步驟 3、追蹤土壤耗水量

依據水分平衡公式：最終土壤耗水量 = 最初土壤耗水量 + 作物蒸發散量 – 灌溉量 – 有效雨量 (式 1)。作物蒸發散量 (ETc) 是土壤耗水的主要因素，一般使用「參考蒸散量」加權一個「作物係數」計算，表一列出了各月份的每日作物蒸發散量，乘以日數即為特定期間之作物蒸發散量。舉例而言，4 月 1 日至 4 月 10 日之作物蒸發散量為 3.88 mm/day × 10 日 = 38.8 mm。

- 步驟 4、當預計土壤耗水量即將接近灌溉管理者允許的限度時，開始灌溉。

由於在田間很難估計最初土壤耗水量，只要雨量足夠，就可以將雨後之最初土壤耗水量設定為 0，以方便計算。以步驟 3 為例，如果 3 月 31 日 (結果期) 降大雨，則 4 月 10 日土壤耗水量 (38.8 mm) 已接近結果期允許之土壤耗水限值 (40 mm)，最好於近日內灌溉。

式 1 可修改為，灌溉量 = (最初土壤耗水量 – 最終土壤耗水量) + (每日作物蒸發散量 × 期距) – 有效雨量 (式 2)，土壤水分會影響各生長時期灌溉需水量，以下是按生長階段製定的灌溉規劃 (圖一)：

- 春梢萌發與開花期：土壤此時乾燥，需灌溉以補償作物需水，依據步驟 2 定義，最初土壤耗水量為 62.5 mm，最終土壤耗水量為 40 mm，作物蒸發散量 1.18 mm/day，開花期 30 日。依據式 2，灌溉量 = (62.5 mm – 40 mm) + 1.18 mm/day

× 30 日= 57.9 mm，如果分 6 次灌溉，灌溉效率 85%，每次灌溉量 = 57.9 mm ÷ 6 ÷ 85% = 11.4 mm，3-5 日灌溉 1 次，遇降雨則視雨量調整。

- 結果期至果實肥大期：大雨後，灌溉期距 = 土壤耗水限值 ÷ 每日作物蒸發散量，例如 5 月結果期之蒸發散量約 5.09 mm/day，因此灌溉期距 = 40 mm ÷ 5.09 mm/day = 7.8 day。持續乾旱期，維持作物需水即可，灌溉期距 = (灌溉量 × 灌溉效率) ÷ 每日作物蒸發散量，例如 5 月結果期之灌溉期距 = 10 mm × 85% ÷ 5.09 mm/day = 1.7 day。

- 轉色期：大雨後不建議灌溉；持續乾旱期，土壤由濕轉乾過程中，土壤水分可供應部分的作物需水，相當於 (40 mm – 62.5 mm) ÷ 30 day = – 0.75 mm/day，每日作物蒸發散量 2.68 mm/day，因此灌溉期距 = 10 mm × 85% ÷ (2.68 mm/day – 0.75 mm/day) = 4.4 day。

- 成熟期、採收期：大雨後不建議灌溉，持續乾旱期參考結果期至果實肥大期。各生育期柑橘建議灌溉期距整理如表六。

表六、柑橘建議灌溉期距 (每次灌溉量 10 mm)

生育期	採收期	花芽分化期	萌芽開花期	結果期		果實發育期		果實肥大期			轉色期	成熟期
月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
灌溉期距 (日)												
大雨後	-	-	○	10	7-8	6-7	7	7-8	8-9	11	-	-
持續乾旱	21	13	3-5	2-3	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	4-5	6-7

○：視雨量調整；-：表示期間不建議灌溉

14.4 蓄水設施容量建議

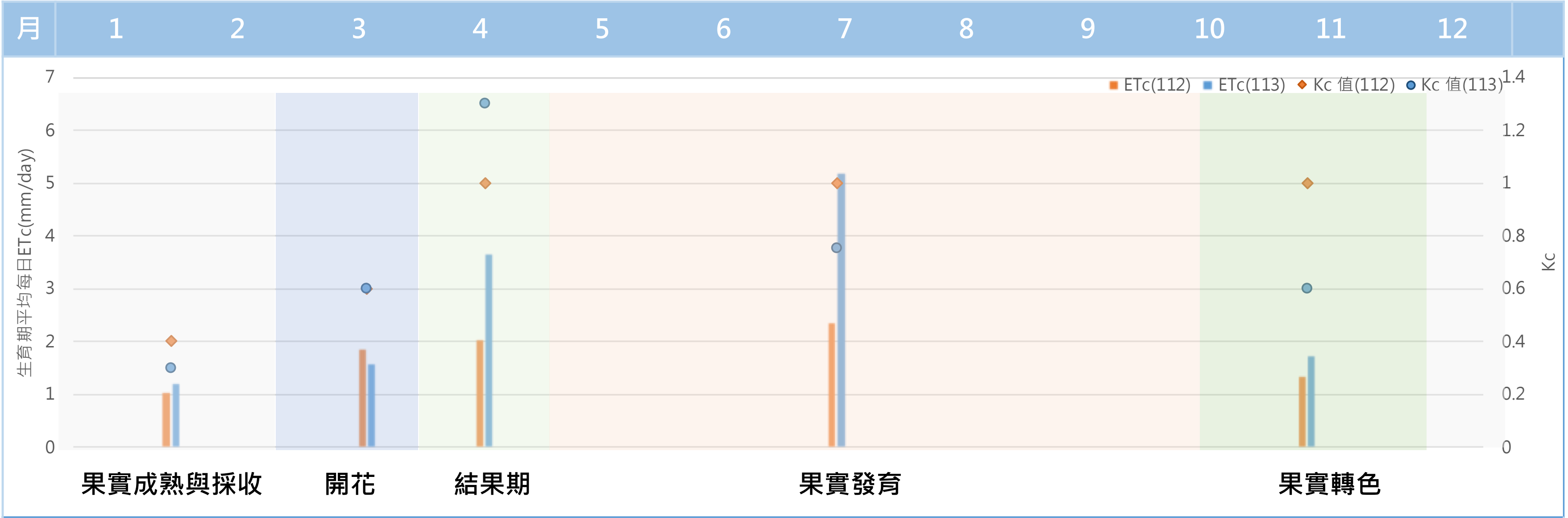
應考量水源取得之難易進行規劃。若水源易取得，則以調節配水用途為主，貯水設施容量不必預留過大。若水源取得困難，則須兼具調節及蓄水用途，至少應滿足 1 次灌溉所需之蓄水量，並就在地區域乾旱缺水風險而酌予增大容量設計。參考目前相關補助基準，如核定面積 0.3 公頃以上：最大容量 100 噸。

14.5 結語

了解自己果園土壤，並依據作物需求，設定灌溉指標，才能精確估算用水量，適時提供柑橘用水。灌溉水源有限之田區，至少應於旱季與重要生育時期適度灌溉補充水分；確認灌溉系統的容量足夠季節及重要時期需水量，若灌溉系統容量有限，可延長灌溉間距，讓土壤容納更多降雨，提高降雨利用率。灌溉水源充足之田區，可落實水源精準調控之管理，擬定一監測程序以確認能適時適量灌水，使柑橘始終有最佳之水分吸收 (向與吳，2004)。

柑橘

地區(地理位置)：苗栗縣卓蘭鎮　面積：0.4 公頃 (360 顆/公頃)　土壤質地：壤土　灌溉方式：露天/噴灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
開花	**開花期為需水臨界期，是對水分需求最敏感時期。**降雨後視雨量大小，約 1-2 週後補灌溉 1 次，若持續乾旱，每 3-5 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm，一旦雨季開始，停止灌溉。
結果期	大雨後 7-10 日灌溉，若持續乾旱每 1-3 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm。
果實發育	大雨後 6-7 日灌溉，持續乾旱每 1-3 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm；或在土表下 30 cm 處達 30 kPa 時進行灌溉。
果實轉色	大雨後不建議灌溉，持續乾旱每 4-5 日灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm；或在土表下 30 cm 處達 60-100 kPa 時進行灌溉。
果實成熟與採收	採收前 1 個月應停止灌溉，採收後持續乾旱約 1-3 週後補灌溉 1 次，每次灌溉 10 mm。

執行單位：農業部苗栗區農業改良場　計畫主持人：蔡正賢副研究員

圖一、灌溉指引圖-柑橘 (詳附錄 11)。

15. 木瓜

農業部高雄區農業改良場/朱堉君/副研究員

15.1 作物概述

木瓜 (*Carica papaya*) 是番木瓜科番木瓜屬的熱帶果樹，為多年生大型草本作物，為防止蚜蟲傳播輪點病病毒，需栽培於網室內，每期經營年限 2-3 年。'台農 2 號'為臺灣主要栽培品種，栽培面積占 95%，其平均單果重約 1,100 g，果肉橙紅色，產量高，但不耐貯運。其次栽培品種為'日陞'，占 3%，果肉為紅色，品質佳，但產量較低，耐寒性差。木瓜栽培面積為 2,663 公頃，主要產區分布於屏東、臺南、南投、高雄、嘉義及雲林。

木瓜易受劇烈氣候影響生產，不耐低溫、乾旱及長期淹水，木瓜的生育適溫是 21-33℃，日照充足、排水良好、地下水位低且具備水源、避風之處是適宜的栽培環境。木瓜需栽培於網室，初期投入成本高，平均每公頃產量約 42 公噸，屬於高投資高收益的果樹種類，但在灌溉管理上仍較為粗放，由於木瓜葉面積大、光合作用能力強，且蒸散率高，需供應較多灌溉水量，適當的灌溉及肥培管理為穩定生產之關鍵技術，有必要建立其灌溉模式。

15.2 栽培環境

本研究之試驗地點位於屏東縣長治鄉高雄區農業改良場之試驗場域，屬於熱帶氣候，夏季高溫多雨，主要降雨集中於 6-8 月，冬季乾燥溫暖。試區土壤性質為砂質 (表土) 至砂質壤土 (底土)、有機質含量偏低約 1%，土壤水分有效含量為 11-30%。一般每公頃木瓜的栽培密度約為 1,500-1,800 株，本場試驗田因採機械化管理，畦溝較寬，調整栽培密度為 1,250 株。排水良好的砂土至砂質壤土為適合木瓜栽培的土壤特性，為避免長期耕作導致下層土壤為較為硬實，試驗果園整備時進行翻耕，以利後續排水。

木瓜適合於 11 月至隔年 2 月的秋冬季定植，若在夏季定植，應以鑽孔機將植穴挖深 30-40 cm，將田土、有機質及泥炭土以 2：1：1 的比例混和後，加入 5 g 的緩效性肥料，將上述介質填入植穴後定植。木瓜定植後 60-70 日為苗期，70 日後進入始花期，210 日後可開始採收，不同生育時期，因葉片數量及葉面積差異，需水量不一，建議可參考以下指引進行灌溉。

15.3 灌溉指引

木瓜植株特性為葉面積大，光合作用效率高且蒸散作用強，可連續生產果實，因此需充分灌溉及施肥以維持產能。高屏地區果園若在灌區內，如六龜、美濃，農民主要採淹灌方式，引水淹灌雖然方便，但若整地不平、排水不良或乾季期間水源較少，則容易有水分管理不均的問題，影響根系及植株發育，或導致病害發生。因此，建議設置貯水設施，以管路灌溉搭配注肥系統進行灌溉，提升肥灌效率。

木瓜定植初期，因根系少，乾旱導致缺水逆境會影響後續植株生育及生產，建議每 1-2 日灌溉 1 次，保持根系附近土壤濕潤。苗期缺水植株會發生葉片變小、葉面下垂及株高變小等徵狀，如田間植株發生缺水徵狀，應確認灌溉量是否充足，管路出水是否暢通等 (圖一)。

圖一、正常灌溉植株 (左) 及苗期缺水植株 (右)。

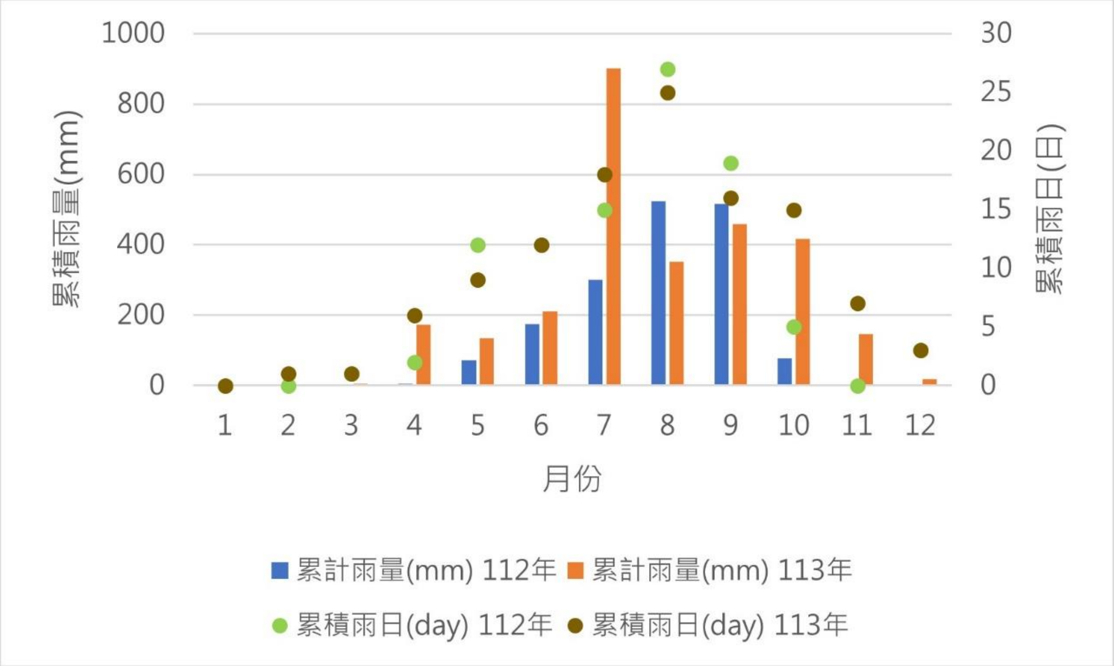
木瓜定植後 8 個月，根系可達 80 cm 以上，主要根系大多分布於 50-60 cm 處(圖二)，建議田區可埋設土壤水分感測器，埋設於土表下 30、60 cm，灌溉後進行監測，以確認灌溉水量可供應主要根系分布之位置。

圖二、木瓜根系主要分布於土表下 50-60 cm 處。

依據生育期建立以累積作物蒸發散量閥值之智慧化灌溉方法，於場域驗證可行性。智慧化灌溉系統須具備可計算作物蒸發散量之氣象站及灌溉控制器，氣象站須包含氣溫、濕度、太陽輻射量、風速計、雨量筒及土壤水分計等感測器。氣象站可計算每日參考蒸發量 (ETo) 累積量，並依據設定參數進行灌溉，降雨量達 10 mm 時，則視為 1 次有效灌溉，後續將累積量歸零後重新計算。本試驗場域使用孔距 30 cm，出水量每小時 1 L 規格的滴灌管，依據設定的灌溉處理設置 1-5 條滴灌管，分別為 40% ETo、80% ETo、120% ETo、160% ETo 及 200% ETo 灌溉量。

針對不同生育期木瓜需水量完成驗證，苗株在定植後 1-2 週內 (幼苗期)，因根系少，需每 1-2 日灌溉 1 次，約 20-30 分鐘；苗期之後建議供應至少 80-120% ETo 灌溉水量。苗期的起灌閥值為累積 ETo 達 10 mm 時，需供應 8-12 mm 水量，灌溉時間約為 80 分鐘，進入始花期到採收期，累積 ETo 起灌閥值為 25 mm，需供應 20-24 mm 水量，灌溉時間約 3 小時。以建議用水量灌溉，植株的株高、莖粗、葉片大小及果實重量等生育性狀良好，可達節水兼顧穩定生產的目標。

由於每年降雨量及降雨分布情形差異大，若田區未設置氣象站，無參考蒸發散量依據，則應視田區情形調整灌溉頻率。高屏地區降雨集中於 6-8 月，幾乎不須灌溉，12 月至隔年 3 月為主要於乾季 (圖三)，此時應依生育期進行灌溉，苗期、始花期後灌溉頻率分別為 5-7 日 1 次及 7-10 日 1 次，可視氣溫及田間土壤性質調整灌溉時間 (圖四)。



圖三、112-113 年降雨情形。

15.4 蓄水設施容量建議

依據木瓜栽培密度、灌溉管路數量、出水量及孔距等，若以滴灌進行灌溉，依當地水源供應穩定性差異，建議每公頃可設置 20-60 公噸蓄水設施 (表一)。

15.5 結語

木瓜是連續生產型的多年生果樹作物，產量及產值高，以網室栽培所需投入成本相較其他果樹作物高，面對氣候變化的風險高。建議農友應考量長期栽培效益，投入灌溉系統建置，透過精準肥灌管理，節省肥料及水電成本、降低灌溉工時以提升木瓜生產穩定性及收益。

表一、以 113 年試驗成果估計蓄水設施建議容量

生育期 [z]	降雨量 [y] (mm)	ETc	Kc	實際灌溉量 (mm)	田間需水量 D (mm/day)	1 株 施灌面積 A1 (m^2/株)	1 次 灌溉水量 V1 (m^3)	預留缺水或乾旱風險 T (次)	貯蓄水設施容量 V2 (m^3)	規劃容量 [1] (m^3，採 1 次)	規劃容量 [2] (m^3，採多次)	規劃容量 [2] (次數)
苗期	121.6	238.2	0.8	38.9	0.6	5	3.9	2	7.8	20	60	3
始花期	793	333.2	1.2	156.9	2.2	5	14.5	1	14.5	20	60	3
著果中期	774.6	293.8	1.2	25.1	0.4	5	2.6	1	2.6	20	60	3
採收期	135.8	193.0	1.2	101.5	1.5	5	9.9	2	19.8	20	60	3

[z] 生育期：苗期：3/14-5/23；始花期：5/24-8/2；著果中期：8/3-10/12；採收期：10/13-12/20

[y] 降雨量來源：中央氣象署高雄區農業改良場氣象站

木瓜

地區(地理位置)：屏東縣長治鄉　面積：0.1 公頃(1250 棵/公頃)　土壤質地：砂土-砂質壤土　灌溉方式：網室/滴灌

(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
累積雨量		5.0	173.5	134.0	212.0	902.0	352.5	458.5	417.0	147.0	18.0	5.0
累積雨日		1	6	9	12	18	25	16	15	7	3	1
灌溉次數		-	-	3	3	3	1	0	1	1	1	-
生育期			3/14定植-苗期		苗期後期		始花期-著果中期		採收期			

- 本試驗至苗期後，開始使用智慧灌溉系統，依據生育期利用以下作物蒸發散量為起灌閥值，並依場域土壤性質及栽培密度、管路、出水量設計以下參考灌溉水量。若降雨量達 10 mm，則視為 1 次有效灌溉。
- 建議設置土壤水分感測器進行灌溉後土壤水分監測，以確認灌溉量是否充足

生育期	作物蒸發散量起灌閥值 (mm)	灌溉水量 (mm)	灌溉操作建議
幼苗期	-	-	定植後 1-2 週幼苗，因根系少，乾旱容易造成植株生育不良，應每 1-2 日灌溉 1 次，保持土壤濕潤。
苗期	10	8-12	定植後 30-70 日為苗期後期，灌溉頻率 5-7 日 1 次，灌溉水量達土表下 30 cm。
始花期	25	20-24	定植 70 日後進入始花期，葉片量多，乾季灌溉頻率為 7-10 日 1 次，灌溉水量達土表下 50-60 cm。
著果中期	25	20-24	
採收期	25	20-24	

執行單位：農業部高雄區農業改良場　計畫主持人：朱堉君副研究員

圖四、灌溉指引圖-木瓜。

16. 麻豆文旦

農業部花蓮區農業改良場/劉啟祥/副研究員

16.1 作物概述

屬柑橘類果樹，麻豆文旦品種 (*Citrus grandis Osbeck* cv. *Matou Wentan*)，全臺各處均有種植，是我國重要經濟果樹種類之一，也是國人中秋節節慶用水果，為長年性作物，普遍樹齡為 30 年。依據農業部農糧署統計資料，113 年度麻豆文旦全臺種植面積總計 3,843 公頃，主要分布於臺南 (1,076 公頃)、花蓮 (849 公頃)、苗栗 (455 公頃) 與新北 (431 公頃)。全臺每年總產量 64,783 公噸，其中臺南 24,670 公噸、花蓮 13,796 公噸、苗栗 6,061 公噸與新北 5,249 公噸。

16.2 栽培環境

花蓮屬亞熱帶氣候環境，依據交通部中央氣象署資料，花蓮冬至春季 (12 月至翌年 4 月) 降雨較少，介於 58-84 mm 之間，其他季節月份 (5-11 月) 每月平均降雨量均超過 100 mm 以上。花蓮縣瑞穗鄉位處花東縱谷中段，距離花蓮市署屬有人站花蓮測站約 60 km，氣候條件與花蓮市有所差異。瑞穗鄉的土壤主要為沖積土，但因地形、地質及沖蝕作用等因素，土壤類型及特性差異較大。果園普遍存在土壤有機質含量偏低之問題。

花蓮縣麻豆文旦產地集中於瑞穗鄉，並以鄉內之鶴岡村為主，其次為瑞祥村與鄰近區域之重劃區。鶴岡村淺山地區土壤質地經檢測為坋黏壤土，但村內 193 縣道與秀姑巒溪之間區域則以砂壤土為主；零星果園自備水井抽水或由山區自設引水管道，並無另設之公共灌溉供水系統或設備可供運用，所有果園供水來源以降雨為主。瑞穗鄉瑞祥村一帶，土壤質地經檢測為砂壤土，有建置公共灌溉系統之管道設備，但近年經驗顯示用水高峰期仍有水量不足或無法供水之情況。

16.3 灌溉指引

東部地區麻豆文旦每年之生育期可以將 2-3 月春梢萌動生長視為起點，3-4 月為開花期，之後則為開花後小果之生理落果期，此階段時程為 4-5 月。生理落果結束後著果穩定，構成該年度主要產量，果實生育期亦隨即開始。果實生育前期以果皮之生育為主，待 5 月下旬至 6 月上旬開始，進入果球膨大生長、果汁率開始逐漸累積之果球生育期；至 7 月上旬至中旬開始，則果實品質 (如可溶性固形物等) 呈現較明顯的變化與累積，終至 8 月下旬至 9 月中旬為果實採收期。果實採收後則為麻豆文旦樹體營養生長期，樹體積蓄碳水化合物等養分，待 11 月中下旬以後因冬季低溫開始花芽分化，並持續維持停止生長之狀態；待翌年春季新梢萌動，開始恢復生育。

由麻豆文旦生育週期可以推測，每年春梢萌動、開花乃至著果期，樹體需大量水分提供膨壓與元素運輸之用，應為主要需水期。著果穩定後至 6 月以前的果皮生育期，因麻豆文旦消費市場以中小果受歡迎，因此本階段不需灌溉供水。6 月以後為果球生長與品質累積階段，應須供水以維護正常生理作用提供果實生長充實之良好環境。果實採收後即進入營養生長乃至花芽分化期，對水分的需求降低。相關果園田間經驗與試驗結果，亦與此一用水期之推測相符合。

因春梢期為主要用水期，然本區灌溉水源較稀缺，故灌溉方式建議以微噴霧為主，以節省灌溉用水量；試驗結果顯示微噴霧搭配自動控制系統 (土壤水勢感測器連動微噴灌灌溉系統)，可大幅減少人工操作所需時間與節省 9 成之灌溉用水量 (圖一)。

- 春梢期 (3-4 月為主) 每日田間需水量建議為 3.08 mm，或果園土表下 30 cm 處，土壤水勢保持在 -5 至 -15 kPa 之間，可縮短開花著果期 10-14 日，減少果園花期薊馬危害的時間，促進小果生長發育，有效維護果園產量。若遭逢乾旱 (如土壤水勢 -25 kPa)，會導致減產 27% (介於 20-30% 之間)，春梢期之水分管理對產量具顯著影響，對採收期的果實品質無影響。

- 小果期(5-6 月上旬) 著果穩定之後，無須灌溉，依靠自然降雨即可。

- 中大果期 (6 月中旬至 8 月上旬為主)，每日田間需水量建議為 3.46 mm；或果園土表下 30 cm 處，土壤水勢保持在 -5 至 -15 kPa 之間。經試驗結果顯示，此時期水分管理對麻豆文旦品質之影響較不明顯。
- 果實採收期 (9 月) 後花蓮地區降雨充足，依靠自然降雨，可達成禮肥等採收後管理作業之需求。
- 11 月至翌年 2 月間，麻豆文旦植株花芽分化，無須灌溉，依靠自然降雨即可。

因本區主要麻豆文旦產地位於臺灣東部海岸山脈淺山地區，降雨條件差異極大，就瑞穗鄉瑞穗自動氣象站資料顯示，7 月降雨量分布範圍可由 25 mm (111 年) 至 617 mm (114 年) 之間，加以不同產地區段土壤質地之差異，故以各別果園土表下 30 cm 處之土壤水勢為判斷依據。

16.4 蓄水設施容量建議

貯蓄水設施容量以能適當供應果園每次灌溉所需水量之需求為主。或可參考麻豆文旦之行株距 6 m × 6 m 之栽種距離，每公頃 300 株；果園採微噴灌方式供水，春梢期每日需水量 3.08 mm，灌溉效率以 90% 計算，每次每公頃用水量為 3.08×10^{-3} m × 36 m^2 × 300 ÷ 90 %，可得需水量為 36.96 噸。採用貯水 100 噸水之設備估算，可供 2-3 日灌溉供水使用。

16.5 結語

隨著氣候變遷，東部地區麻豆文旦春梢期降雨不足之情況，發生機率已悄然提高；於果園使用土壤水勢感測器連動微噴灌灌溉系統，相較於以傳統經驗灌溉用水者，可節省 9 成之灌溉用水量，亦可縮短工時、降低人力操作成本，並有利蟲害防治與果實生長、維護產量與不影響品質等效益，以保障果農收益。目前本區灌溉系統之公共建設仍待加強，因此精準有效的運用水資源，將是東部地區麻豆文旦產業發展必須面對的問題。

麻豆文旦

地區(地理位置)：花蓮縣瑞穗鄉　面積： 3 公頃 (275顆/公頃)　土壤質地：砂壤土　灌溉方式：露天/微噴灌　(試驗場域實際試驗結果)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

建議灌溉之生育期

▲ 文旦果園微噴灌系統

◀ 文旦果園設置土壤水分張力計

生育期	灌溉操作建議
採收後至翌年春 (11 月-翌年 2 月)	秋季依靠自然降雨；冬季植株停止生長進行花芽分化，無須灌溉，依靠自然降雨。
春梢期 (3-4 月)	降雨量加灌溉水量合計為每日 3.08 mm。或是果園土壤下方 30 cm 處，土壤水勢維持在 -5 至 -15 kPa 之間。
小果期 (5-6 月上旬)	因麻豆文旦消費習慣以中小型果為佳，著果穩定後無須灌溉，依靠自然降雨。
中大果期 (6 月中旬-8 月上旬)	降雨量加灌溉水量合計為每日 3.46 mm。或是果園土壤下方 30 cm 處，土壤水勢維持在 -5 至 -15 kPa 之間。 於採收前 2 至 4 週停止灌溉。
採收後 (9 月上旬-11 月)	秋季依靠自然降雨；若連續 2 週以上未降雨，宜補充灌溉 1 至數次，灌溉水量可參考春梢期每日用水建議。

執行單位：農業部花蓮區農業改良場　計畫主持人：劉啟祥副研究員

圖一、灌溉指引圖-麻豆文旦。

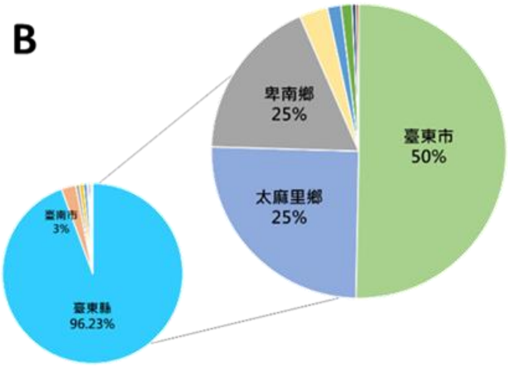
17. 番荔枝

農業部臺東農業改良場斑鳩分場/李子易/助理研究員

17.1 作物概述

番荔枝俗稱釋迦 (*Annona squamosa*)，是番荔枝科 (Annonaceae) 番荔枝屬作物，屬於半落葉性小喬木，原生於中南美洲一帶。生產國包括巴西、印度、中國及東南亞國家 (如菲律賓、泰國、印尼、越南及馬來西亞等)，惟大多管理粗放且都以國內市場為主，在國際上歸類為地區性小宗水果。臺灣最早自 400 年前由荷蘭人引入臺南，至民國 60 年間開始有較大規模種植，選育出軟枝、粗鱗等地方品系，並陸續選育出臺東 1 號、臺東 2 號等品種，目前以臺東 2 號 (大目種) 為主流品種，其果實大、產量高且品質佳，受農友及市場青睞 (盧等，2010)。

臺灣釋迦栽種區域集中在臺東縣，栽培面積共 2,369 公頃，占全臺種植面積 93.7%，平均產量 10-12 噸/公頃，113 年受颱風影響，總產量共 9,222 公噸，每公頃僅 4.08 噸。栽種面積以臺東市 1,190 公頃，太麻里鄉 595 公頃，卑南鄉 425 公頃及東河鄉 74 公頃為最主要生產區域 (圖一)。



圖一、釋迦 (A) 果實外觀，及 (B) 產業種植面積比率。

17.2 栽培環境

臺東為亞熱帶氣候，夏季炎熱潮濕，冬季則較為涼爽，冬溫較西部平原地區稍高。灌溉試驗於主產區卑南鄉 (豐田地區) 平地草生果園進行，試區 114 年 (截至 9 月) 平均溫度 27.4℃，最高溫 35.7℃，最低溫 12.2℃，累積降雨量 1,953.6 mm，平均每日 ETo 為 2.62 mm ，平均株齡 5 年。

試區土壤經質地檢測，屬於砂質壤土及壤質砂土，排水性良好，有機質含量介於 1.69-2.66%，電導度 0.10-0.28 mS/cm，酸鹼值 7.04，依農業試驗所農業化學組資料顯示屬於瑞穗坋質壤土，土類為片岩沖積土，土壤有效水量 (TAW) 約為 15-21%。

釋迦為多年生果樹，透過修剪技術，可達到 1 年 2 收 (夏期果及冬期果) 之產期調節模式。經濟生產配合燈照技術幾乎達到週年生產，僅 5、6 月產量較少。植株定植可使用種子苗或嫁接苗，約定植或嫁接後第 3 年可開始生產，5-8 年時進入盛產。

17.3 灌溉指引

由於臺東沒有水庫，且僅少部分地區能使用灌溉溝渠，多數果園之水源多引自地下井水或自行建置之蓄水設施，尤其太麻里山區，多仰賴圓形 (60-200 噸) 水泥蓄水池。釋迦園常見灌溉方式多採用噴灌，以固定式噴頭 (俗稱香菇頭) 或旋轉式噴頭 (俗稱噴鳥) 進行 (圖二)，固定式噴頭出水量較大，噴灑範圍較小約 1-3 m，農民灌溉時間一般約 0.5-1 小時，慣行設置為每 2-3 株 1 個噴頭；旋轉式噴頭噴灑範圍較廣，約 4-6 m，為確保土層濕透，農民會拉長灌溉時間，約灌溉 4-6 小時。灌溉頻率農民一般多以經驗法則進行，以目視植株狀態、草地狀態、評估連續不降雨日數、表土層觸感及顏色，搭配生育期階段來決定是否灌溉。

圖二、釋迦果園常見灌溉方式，多採用 (A) 固定式噴頭 (香菇頭) 自基部灑水，
或 (B) 旋轉式噴頭 (噴鳥)，自頂端灑水。

根據試驗監測數據結果顯示，釋迦慣行果園灌溉用水量約 200-430 噸/公頃/次 (≒ 20-43 mm)，由於降雨日數、降雨量、土壤特性及生育階段影響灌溉量甚鉅，因此建議設置土壤水分 (勢) 監測儀器，以達精準灌溉目的。

釋迦灌溉基準設定 -60 kPa，若依據穩壓固定式噴頭 (開口間距 3 mm)，以每 2 株設置 1 噴頭灌溉，在連續完全無降雨情境下 (有效降雨 = 降雨量 > 1 mm)，砂質土約 5-7 日需灌溉 1 次，壤質土約 10-17 日需灌溉 1 次，灌溉時間以土壤深度 30 cm 處可回復至 -10 kPa 以內為目標，視土壤性質及入滲率有所差異，一般建議約 40-60 分鐘 (圖三)。

釋迦因產期調節，各生育階段可能重疊，但整體而言在冬季強剪後 (約 2-4 月) 一般不進行灌溉，至抽梢時恰逢雨季 (3-6 月)，此時應確保土壤濕潤；於夏季短截枝修剪後更應維持水分穩定供應，以確保開花率及授粉成功率，小果期則為需水量最大的時期，應適度增加灌溉頻率，惟此時常為臺東颱風好發季節，應視田間土壤狀況進行灌溉調整。

採收前期則可略微降土壤水勢提升品質，但應避免水分變化過於劇烈導致裂果率增加，各生育期灌溉指標詳細資訊可參考 113 年灌溉期程，釋迦第 1 期果 (夏期果) 及第 2 期果 (冬期果) 灌溉指引圖 (圖三)。假定參數為 600 株/公頃，每 2 株 1 穩壓固定式噴頭 (開口間距 3 mm，壓力 1.5-2.0 kg/cm^3)。土壤為砂質壤土，入滲率為 14.04 cm/hr，根系有效深度為 40 cm。

17.4 蓄水設施容量建議

釋迦灌溉仰賴灌溉溝渠或蓄水設施儲水，以砂質壤土 (豐田區域) 特性，飽和土壤在連續無降雨情況下約 14-22 日 (視日照程度) 會到達起灌基準；根據灌溉水量需足以濕透主要根系分布區域，單次灌溉需足以使土壤深度 30 cm 深處回復至 -10 kPa 以內。釋迦蓄水設施容量需求估算，依 113 年 1-3 月之平均估算蒸發散量 (ETo) 及降雨量關係 (ETc-Pe) 估算田間需水量，並假定 1 公頃 600 株之種植密度，以噴灌系統 10 日為 1 週期基準進行灌溉，且忽略土壤逕流、入滲及其他損失，灌溉需用水 200-250 噸/公頃/次 (≒ 20-25 mm)，若以水泥設施結構蓄水池，建議 200 噸或以上，若採蓄水池則建議至少 1,000 噸，可支應約 3-4 次灌溉，約 30-40 日的連續無降雨乾旱。

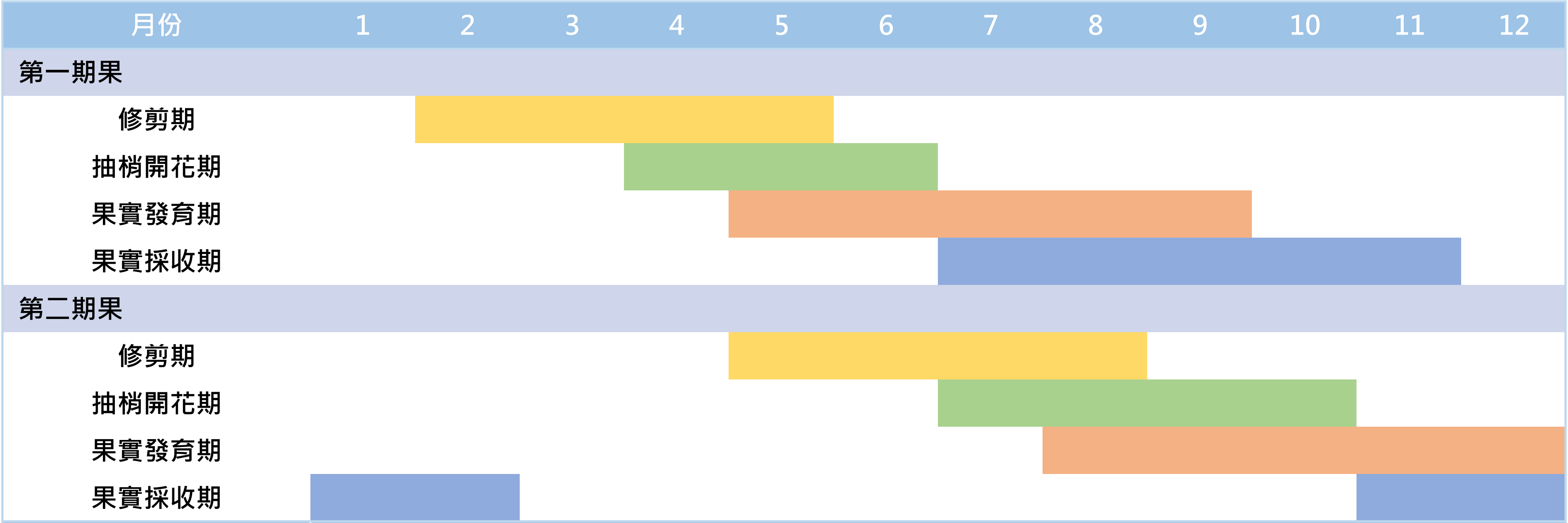
目前調查臺東市地區釋迦果園農民蓄水設施 (多為蓄水池)，蓄水量在 500-4,000 噸之間，平均蓄水量大小為 1,000 噸，應足以支應完全無降雨 1-1.5 個月的灌溉用水；至於太麻里及東河山區釋迦果園，經田野調查，農民多使用 50-200 噸水泥結構水塔，並以符合農水署補助之 100 噸規格水塔最多人使用，由於山區果園土壤性質及逕流、滲透性質有待調查，依經驗法則及調查結果綜整，並考量山泉水緩慢但不間斷的挹注，提供果園少量多次灌溉的機會，山區建議至少使用 100 噸水塔，配合降雨應足夠支應植株生長所需。

17.5 結語

釋迦精準灌溉仰賴監測儀器提供判斷依據，以水勢計 -60 kPa 作為起灌依據，相比慣行農法依經驗可節省 20% 水量，並維持產量及果實品質不變，若以無線裝置互聯，配合定時甚或智慧連動裝置，更可省去開關水閥之路程，及中間等待的時間，有效降低人工操作成本，甚至能同時減緩焚風侵害達減災功效。惟智慧灌溉系統應用所費不貲，考量土壤歧異度變化大，果園土壤水分狀態難以準確監測，建置系統前應確實評估水質狀態，水源穩定性，以及整體經濟效益後，合理使用。

番荔枝

地區(地理位置)：臺東市豐田里　面積：0.64 公頃 (839 顆/公頃)　土壤質地：砂質壤土　灌溉方式：露天/固定式噴頭　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
修剪期	建議每 20 日灌溉 1 次、每次灌溉 20 mm (若無雨應補充灌溉 1 次) 。
抽梢開花期	建議每 10 日灌溉 1 次、每次灌溉 20 mm (若無雨應補充灌溉 1 次)；或在土表下 30 cm 處達 -60 kPa 時進行灌溉。
果實發育期	小果發育期為水分需求最敏感時期。 建議每 10 日灌溉 1 次、每次灌溉 20 mm (若無雨應補充灌溉 1 次)；或在土表下 30 cm 處達 -60 kPa 時進行灌溉。
採收修剪期	建議每 20 日灌溉 1 次、每次灌溉 20 mm (若無雨應補充灌溉 1 次)。採收前 1 個月應維持土壤水分一致。

執行單位：農業部臺東區農業改良場　計畫主持人：李子易助理研究員

圖三、灌溉指引圖-番荔枝。

18. 設施甜瓜

農業部種苗改良繁殖場/蔡秉芸/助理研究員、張勝智/副研究員、張倚瓏/助理研究員
國立中興大學農藝學系/郭寶錚/教授、方士倫

18.1 作物概述

甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 為葫蘆科 (Cucurbitaceae) 一年生蔓性草本植物，是廣受消費者喜愛的高經濟價值果菜類作物，依果品特性區分，可分為東方甜瓜 (本研究標的，亦俗稱美濃瓜) 與洋香瓜等。東方甜瓜又稱為薄皮甜瓜與香瓜，為臺灣中南部地區重要瓜果類作物，目前栽培品種以'嘉玉'為主，成熟時果皮呈銀白色稍帶黃白色，並帶有濃厚香氣，廣受市場喜愛。近年因生活水準與果品需求提高，中南部等產區已逐步改採設施連作生產，透過密植，搭配直立式栽培，並採高度集約管理，採單株單果生產模式，生產高品質甜瓜。

根據農情報告資源網統計資料，東方甜瓜 (農情報告資源網上名稱為香瓜) 於 113 年栽培面積達 2,354 公頃，每公頃收量 11,947 kg，其主要產區集中於中南部地區如雲林 (282 公頃)、嘉義 (346 公頃)、臺南 (176 公頃) 及高屏地區的高雄 (734 公頃) 與屏東 (393 公頃)。中南部產區含嘉義等地，多位於嘉南重要灌區範圍，深受水源供應影響，為灌區內除水稻外之重要果菜作物。

圖一、甜瓜嘉玉果實外觀 (圖左) 與栽培環境 (圖右)。

18.2 栽培環境

本研究嘉玉甜瓜用水試驗主要於臺中市新社區進行，夏季炎熱潮濕，冬季冷涼。試區經土壤分析，主要為黏質壤土與壤土類型，有機質介於 4.00-4.84% 間，pH 值為 5.12，土壤總體密度 1.24-1.45 g/cm^3，有效水分含量約為 214 mm/m。試區為設施網室，屋頂具覆蓋 PO 膜，周邊鋪設 32 目紗網，係防蟲防雨功能的網室，因此排除降雨因素。嘉玉甜瓜栽植適期為 3-9 月，每期作約 2 個月，本次試驗以春夏作進行試驗，試驗期間日均溫介於 24.1-28.6℃，平均濕度為 74-99%，氣壓為 931.0-961.8 hPa，平均風速為 1.1-6.1 m/s，日射量為 2.42-28.36 MJ/m^2。

18.3 灌溉指引

設施嘉玉甜瓜栽培，採高度集約管理生產，中南部地區多直接引灌區水源或抽取地下井水等方式取水，並搭配有蓄水設施，蓄水塔多為 10-20 噸不鏽鋼平底水塔。設施嘉玉甜瓜灌溉方式常採噴水帶噴灌或穩壓滴灌供水為主。噴水帶或穩壓滴灌噴施範圍較小，且為單點小區擴散為主，以水帶或穩壓滴管供水，平均約每 30 cm 開孔供水，植株株距亦多採 20-30 cm 為主，高密度種植。然而，因瓜果類蔬菜葉片茂密且蒸發散量高，故常須高頻度灌溉以穩定供水，為了確保土層濕潤，農民常以慣行經驗決定，多以目視評估植株狀態，並結合觀察當時氣候情況、土壤表層觸感與顏色，配合不同生育階段調整用水，每分地每次灌水約經常需 0.3-0.5 小時。本計畫訪視設施甜瓜生產農戶多有設置 10-20 噸蓄水塔，根據栽培試驗結果與訪視資訊綜整，進行建議灌溉用水如下。

灌溉方式：ETo 估算每週總用水量後推薦總水量，設施內採噴水帶灌溉，每週總用水量視天候及植株狀況分 2-3 次灌溉，並依土壤質地等適度調整灌溉時間。

臺中市新社區溫網室美濃瓜-「嘉玉」每株建議灌溉量 (L/株/日) (如表一)

- 表一為依照不同生育階段 (如生育期、開花期與著果期)，並針對主要種植期，進行作物蒸發散量 (crop evapotranspiration, ETc) (ETc 對於設施栽培而言相當於作物需水量) 估算。表一為利用 FAO 作物係數-參考蒸發散量程序 (crop coefficient-

reference evapotranspiration procedure, Kc-ETo procedure) 估算出的作物蒸發散量 (ETc)。依照不同生育階段 (如營養生長期、開花期與著果期) 選擇對應的作物係數 Kc，並使用臺中新社每個月份上、中、下旬的氣象資料計算參考蒸發散量 ETo。

- 如果您現在的灌溉量比用這個表一算出來的數字還少，也沒有發現植株有缺水的現象，那就照原本的灌溉量就好。

- 如果想要照這個表一更改灌溉量，可以先小規模測試 1、2 個期作再擴大到整塊田。

- 範例：位在新社的農民，他 1 分地大約種 2,500 株美濃瓜，灌溉是用穩壓水帶，每週灌溉 2 次，每週計算總需水量後，分攤於 2 日進行灌溉。農民於 6 月第 4 週想要灌溉，植株現在著果。則這位農民這週灌溉，每分地需灌溉量如下：

$$0.519 \times 2{,}500 \times 1 \times 7 = 9{,}082.5\ \text{L} = 9.0825\ \text{公噸} \fallingdotseq 9.36\ \text{mm}$$

表格內 6 月下旬著果-收穫的作物蒸發散量 (ETc)

每分地種植 2,500 株

整週總需水量 (7 日)

表一、臺中市新社區溫網室美濃瓜每株、每日建議灌溉量 (L)，本表可依不同地區之歷史氣候資料，推算適宜當地之建議灌溉量。

地區	生長期	國曆3月			國曆4月			國曆5月			國曆6月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
台中新社	定植~開花前	0.119	0.130	0.108	0.116	0.130	0.139	0.403	0.328	0.326	0.361	0.381	0.489
	開花~著果前	0.255	0.279	0.233	0.249	0.279	0.284	0.489	0.397	0.395	0.437	0.461	0.593
	著果~收穫	0.202	0.221	0.184	0.197	0.220	0.226	0.427	0.347	0.345	0.382	0.403	0.519

地區	生長期	國曆7月			國曆8月			國曆9月			國曆10月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
台中新社	定植~開花前	0.487	0.482	0.411	0.419	0.389	0.457	0.338	0.425	0.369	0.355	0.325	0.297
	開花~著果前	0.590	0.584	0.499	0.508	0.472	0.554	0.409	0.515	0.447	0.430	0.394	0.359
	著果~收穫	0.516	0.510	0.436	0.444	0.412	0.484	0.358	0.450	0.391	0.376	0.344	0.314

18.4 蓄水設施容量建議

設施甜瓜 (美濃瓜) 因屬高度集約管理模式栽培，灌溉用水多依賴噴水帶或滴管灌溉為主，並常搭配蓄水塔應用，以減少因水資源風險而造成的經濟損失，本試驗參考慣行栽培密度約 20,000-30,000 株/公頃，種植株數以 25,000 株/公頃為計算基礎，依田間需水量單株每週需水量最大估計值為 3.8 L，以蓄水設施預估儲備 1 次灌溉水量，約為 95 噸，如配合著果期用水可適度調節，著果期至少可維持 1-2 週基本管理用水 (1 次灌溉水量 = 單株用水量 × 株數 = 3.8 L × 25,000 株 = 95 噸)。

長期作物蓄水設施容量之律定成果

- **作物別：甜瓜；產量： 11592公斤/公頃**

1. **1株施灌面積 A1 (灌溉方式：穿孔管)**
   行距：1.33公尺；列距： 0.3公尺 (一公頃約種植25,000株)
   A1 = 1.33 × 0.3 = 0.4 m^2 / 株
2. **一次灌溉水量 V1** (本試驗田間需水量以田間實際灌溉量換算所得 ，已考量灌溉效率在內，故不另外計算)
   V1 = 3.8 L X 25000 株 = 95 噸
3. **貯蓄水設施容量 V2**
   V2 = V1 × T (預留缺水或乾旱風險，如T=1次)
   = 95 × 1 (次) = 95 m^3 (符合補助基準，採100 m^3)
4. **規劃容量 ： 95 m^3 (1次)**

圖二、甜瓜蓄水設施容量需求估算，參考臺中新社試區 113 年試驗結果，
依據種植密度估算，並忽略土壤逕流、入滲及其他損失。

18.5 結語

設施嘉玉甜瓜生產需配合生育情形與環境因素，進行適度供水管理。甜瓜栽培期包含生育期、開花期與著果期 3 個階段，透過建立設施嘉玉甜瓜蒸發散量作物係數，調整各階段灌溉用水量，期望能達到提升果實品質及用水效率之成果。本次試驗結果與慣行栽培經驗，並洽詢專業生產農戶，以風險管理分析，專業農戶回饋以著果期用水穩定為主要考量，因著果階段已接近採收期間，農民管理更需穩定供水，如能了解設施甜瓜栽培期間，尤其在著果期用水需求，則可有效進行風險管理。本次試驗自授粉後到著果採收階段，著果全期粗估每分地約需 25 公噸用水，但考量栽培期間仍會有相關水分供應，以極端情境估算，至少須維持 1 週用水，因此根據試驗結果與用水分析，建議每分地維持至少 9.5 噸基礎蓄水，每公頃則建議維持 95 噸蓄水量以因應極端水資源風險，可維持作物著果期至採收之基本用水。

19. 茶

農業部茶及飲料作物改良場中部分場/陳忠偉/助理研究員

19.1 作物概述

茶樹 (*Camellia sinensis* var. *sinensis* 及 *C. sinensis* var. *assamica*) 是山茶科山茶屬的多年生經濟作物，這種常綠灌木可以在多種氣候環境下生長，經濟栽培地主要在亞熱帶及熱帶，年雨量少於 1,500 mm 的地區多不適栽茶 (Upadhyaya *et al.*, 2008)。0-50 cm 土層的土壤水分對茶樹最重要，小葉種茶樹平均日耗水量在 10-20℃ 時約為 1.24-1.5 mm；23-28℃ 為 1.34-2.68 mm (庄晚芳等，1984)。臺灣目前種植品種以青心烏龍最多 (約占 61%)，臺茶 12 號次之 (約占 12%)。分布新北、宜蘭、桃園、新竹 (縣/市)、苗栗、臺中、彰化、南投 (面積最大)、雲林、嘉義、臺南、高雄、屏東、花蓮、基隆 (面積最小)、臺北等山區或低海拔地區。113 年統計資料栽培面積共約 12,078 公頃、產量約 13,552,406 kg 茶乾。

茶樹 1 年可採收的茶季有早春茶、春茶、夏茶、六月白 (第 2 季的夏茶)、秋茶、冬茶及冬片茶等茶季。從前 1 茶季採收到下 1 季採收之間約需 45-60 日，但實際上可採收的茶季與間距會因品種、氣候、經營管理方式及製茶種類而有所差異。以高海拔茶區所生產的高山茶為例，1 年採收茶菁季節約 2-4 季，通常海拔愈高，氣溫愈低，茶芽生長愈慢，冬季休眠期也較長，採茶季數愈少。因春冬 2 季茶菁製作高山茶風味較佳，因此夏及秋季的茶菁會不採收，或改製其他茶類。南投日月潭茶區 (魚池鄉及埔里鎮) 為臺灣紅茶的主要產區，1 年採收茶菁季節約 4-5 季 (夏茶可收 2 季)。紅茶以夏及秋茶的滋味較佳，春冬兩季製成的紅茶通常較淡薄，但大多經營者仍會採摘，將製成的茶乾與夏秋乾作拼配。南投縣名間鄉為商用飲料茶原料的生產重鎮，海拔低氣溫高的環境雖然讓茶樹可以多次萌發新芽，1 年可機採茶菁 5-7 季，但進入乾燥季節後，會非常需要灌溉補充茶樹水分。

19.2 栽培環境

一般茶樹理想生長溫度約為 16-22℃，氣溫超過 30℃ 開始新梢生長緩慢，超過 35℃ 新梢即枯萎與落葉，超過 40℃ 茶樹停止生育。雨量為茶樹生長盛衰的主要因素，臺灣北部雨量分佈均勻，沒有明顯的乾濕季區分。臺灣中南部受高山阻礙，冬季少雨，夏季因颱風而多雨，乾濕分明。臺灣東部夏季易受颱風影響，降雨較多，秋冬季亦乾旱缺雨。

計畫灌溉試驗地區位於農業部茶及飲料作物改良場 (楊梅總場，桃園市楊梅區金龍里，經緯度 WGS84：E121.186625°；N24.909771°)，1 年的月均溫約介於 15-30℃，雨量約 1,500 mm。

土壤特性為黏質壤土。茶樹偏好的土壤 pH 值約在 4.0-5.5 之間，含鈣量高的鹼性土壤不適合茶樹生長發育。一般而言土層厚度標準 1 m 以上為佳。

扦插定植適期：通常 11 月至翌年 3 月下旬期間均適合種植新苗 (春茶茶芽開始萌動以前)。不同茶區間稍有不同，東部及南部茶區應於 11 月至翌年 2 月種植較佳。中部茶區冬季為旱季，若沒有灌溉設備，則可能視狀況延後到梅雨再種植。北部及高山茶區因氣溫較低，配合雨季，可以在 3 月底前完成新植。規劃新植茶園前需特別注意土壤是否適合茶樹的生長。新植幼木茶園對水分的需求較高，不僅灌溉量需較成木茶園多，也建議茶行間裸露的表土使用花生殼、蔗渣或稻草等進行敷蓋或草生栽培等，保持土壤水分及溫度。山坡地開墾茶園，坡度小於 10 度可以採用等高種植 (沿等高線種植茶樹成行)，坡度較大者需考量將坡地開墾成平臺階段種植，階段的大小視坡度調整，坡度大者階段畦幅需較小。

19.3 灌溉指引

茶園灌溉以管路灌溉為佳。效率高、管理方便，易於控制水量及配水，並能適用高低不平的地形。基本器材包括貯水設施 (蓄水池、水塔)、加壓設備、過濾器、電磁閥、分區控制器及灌溉管路 (主管路、支管、水閥等)，滴灌給水效率較高、噴灌建置成本較低。

平地茶園的貯水設施設置在園區旁，山坡地茶園則設置於上坡方向。平地茶園灌溉需要加壓馬達抽水設備輔助，山坡地茶園則利用自然重力加壓進行灌溉。灌溉管路之佈線，通常主管

垂直於茶行，支管則與茶行平行。類似的道理應用在山坡地茶園，茶行等高種植，主管順坡向垂直等高線，而支管與等高線平行。

因茶區或茶園之間土壤質地可能存在差異，例如臺中市和平區及南投縣仁愛鄉茶區等高山茶區，地質屬砂質片狀礫岩，土壤排水良好，但相對保水力不佳。建議茶園設置土壤張力計或其他可以查看土壤張力 (潛勢) 的感測器，有助於掌握合適的灌溉時機，評估灌溉效果調整茶園給水策略。

無雨時建議每 5-7 日灌溉 1 次，滴灌每次灌溉 20-28 mm (ETo × Kc 累計 5-7 日的概略值，ETo：參考蒸發散量；Kc：作物係數)；或是在前次降雨過後，當土表下 20-40 cm 處的水分張力 (潛勢) 接近 -100 kPa 時進行灌溉，1 次灌溉 5-7 日的需水量。附件圖表所示 Kc 值 0.4 (40% ETo) 可滿足茶園基本需求，當給水超過 Kc 值為 0.4 時的 2.5 倍水量，亦即超過 100% ETo 的給水對茶葉生長無顯著效益 (圖一)。

使用噴灌的需水量較滴灌多約 20-100%，因為噴灌不像滴灌給水直接到土壤，所以茶樹採摘面對地面的覆蓋度、茶園土壤質地及地表的敷蓋資材等因素都會影響噴灌的灌溉量，建議觀察噴灌前後土壤水分張力長期的變化情形作適度的灌溉量調整。茶樹冠層採摘面對地面的覆蓋度高，或有敷蓋處理，使表土蒸散量較少，可以適度延長灌溉週期。茶園土壤為保水力較差的質地，降雨或灌溉後觀察數日可以發現水分張力下降較快，需要適度縮短灌溉週期，也可以進一步施行地面敷蓋。

19.4 蓄水設施容量建議

茶樹產量：全臺平均茶菁產量為每年每公頃 5,160 kg。

蓄水設施容量推估方法及結果：

- 單株施灌面積 (A1)：
  - 在滴灌方式下，行距約 1.5-1.8 m，列 (株) 距約 0.4-0.5 m。
  - 每公頃約種植 12,000-14,000 株。

- 因此，每株施灌面積 A1 約為 0.6-0.9 m^2/株。

- 1 次灌溉水量 (V1)：
  - 考量灌溉深度 D (2-4 mm/日)、單株施灌面積 A1 (0.6-0.9 m^2)、株數 (12,000-14,000 株)、灌溉效率 (90%) 以及灌溉週期 (5-7 日)。
  - 考量每株施灌面積及每公頃種植株數，計算得每公頃 1 次灌溉水量 V1 約為 80 至 392 m^3 (種植最稀疏到最密集)。
  - 不細分每株施灌面積及每公頃種植株數，直接計算每公頃用水量約為每 5 日灌溉 111 m^3 至每 7 日灌溉 311 m^3。

- 貯蓄水設施容量 (V2)：
  - 為了預留缺水或乾旱風險，V2 為 V1 × T (預留次數，如 1-2 次)。
  - 計算得出貯蓄水設施容量 V2 約為 80-784 m^3。

- 規劃容量：
  - 根據推估，符合補助基準的規劃容量採 100 m^3。

茶樹灌溉方式系統布設示意：

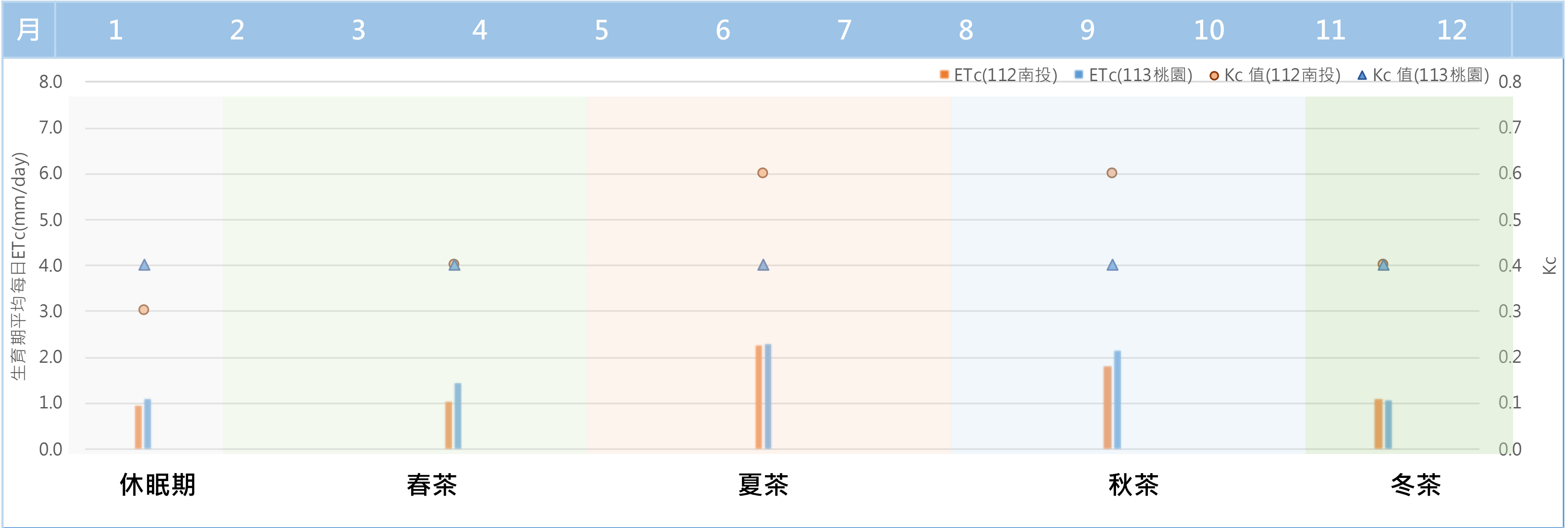
- 種植密度：一般每公頃約 12,000-15,000 株，茶行間距約 1.5-1.8 m。
- 系統布設：滴灌管線沿茶行設置於植株根際 (樹頭) 旁，並依株距 0.4-0.5 m 開孔。
- 分段要求：茶行長度應避免超過 50 m，需適當分段，以方便施肥、修剪及採摘等田間作業。

19.5 結語

臺灣的年降雨量平均約 2,515 mm，但臺灣的地形複雜，季節變化多端，降雨時間和空間分布非常不均勻。當種植環境的自然降雨若無法達茶樹生長需求，勢必利用灌溉補充不足的水分，營造良好的茶園水分環境，強健茶樹生長，以確保茶菁的產量及品質。以作物需求為出發點，透過蒸發散量為基礎計算的灌溉給水量，在不影響收穫品質的狀況下減少不必要的給水，提升用水效率。

茶

地區(地理位置)：南投縣魚池鄉、桃園市楊梅區　面積：1公頃、0.05公頃 (12,000 顆/公頃)　土壤質地：坋質粘壤土　灌溉方式：露天/滴灌　(試驗場域實際試驗結果)



生育期	灌溉操作建議
休眠期	茶芽因低溫休眠中，無雨時建議每 5-7 日灌溉 1 次，每次灌溉 10-14 mm； 或在土表下 20-40 cm 處接近 -100 kPa 時進行灌溉，補足 5-7 日灌溉 1 次的量。
春(夏秋冬)茶 (萌芽、新梢 生長時...)	各茶季在茶芽開始芽動對水分需求最敏感。無雨時建議每 5–7 日灌溉 1 次，滴灌每次灌溉 20–28 mm (ETo × Kc 累計 5-7 日的概略值)； 或土表下 20-40 cm 處接近 -100 kPa 時進行灌溉，1 次灌溉 5-7 日的需水量。 圖表所示 Kc 值 0.4 (40% ETo) 為基本需求，水源足夠時可以增加到 60-100% ETo 的灌溉量， 即 Kc 值為 0.4 的灌溉量 1.5-2.5 倍水量，超過 100% ETo 的給水無顯著效益。採用噴灌時需水量較滴灌多約 20–100%。

執行單位：農業部茶及飲料作物改良場中部分場　計畫主持人：陳忠偉助理研究員

圖一、灌溉指引圖-茶 (詳附錄 12)。

3

建議最適灌溉模組

1. 北部小尺度

農業部桃園區農業改良場/鄭智允/副研究員

1.1 背景介紹

北部地區 (桃園、新竹) 的農業生產以水稻為主，第 1 期作大多種植水稻，2 期作因受到東北季風盛行影響，導致水稻產量普遍偏低，尤其是沿海鄉鎮稻作區，因此多數田區 2 期作休耕，北部地區每年栽培面積約 2 萬公頃左右。近年因氣候變遷，春耕時期常面臨缺水，農業灌溉成為被犧牲的那塊，影響 1 期稻作栽培與產量穩定性。農業單位逐步推動轉作大豆與高粱，以降低用水需求並增加糧食自給，逐漸形成 1 期水稻 2 期雜糧之耕作制度。

北部灌區主要依賴石門水庫與數百座埤塘共同調度。由於供水需兼顧民生與工業，農業灌溉在水情不佳時，需採「分區供水、輪灌管理」; 乾旱時優先保障民生用水，農業用水易受限。與河流型區域相比，北部屬於水庫型加埤塘灌區，雖然水源調配較具儲存及調配能力，但在枯水期及梅雨延遲時仍可能發生灌溉中斷，因此，考驗農水及農政單位之灌溉協調、氣候預警及耕作制度之調整。

圖一、北部地區小尺度驗證場域共 5 公頃。

北部地區小尺度驗證場域設於桃園區農業改良場 (新屋區)，示範面積共約 5 公頃 (圖一)，水田灌區共 26 區，旱田灌區共 18 區，各別灌區面積為 0.02-0.4 公頃，土壤以黏質壤土為主，具保水性。水源來自桃園大圳之灌溉圳路，由蚵殼港圳 9 號池及 9-1 號池供灌，水稻及雜糧採溝渠以檔板引水灌溉，溝渠入水口至田間有安裝流量計，部分田區為進行較精細之灌溉，以管路方式並安裝電動閥門控管進水量。田間之場域內安裝水位計、土壤水分感測器，以評估不同作物之灌溉用水量及田間灌溉情況。

1.2 慣行操作方式

- 水稻慣行栽培：

  以水位計與電動閥門連動，當水位低於設定值時，配合管路灌溉的方式自動灌溉，使水位達特定高度 (圖二、三)。插秧後 3-5 日，開始安裝水位計進行湛水管理：

  - 秧苗期：維持田面湛水，水位 1-3 cm (施用追肥後 3 日內不灌溉)。
  - 曬田期：不灌溉，曬田至土壤表面呈現龜裂狀態。
  - 幼穗分化期至糊熟期：維持田面湛水，水位 5-10 cm。
  - 黃熟期：視情況灌溉至 5 cm，收穫 7 日前排乾水，不再灌溉。

- 水稻延後插秧：

  管理方式依照慣行栽培之生育期進行灌溉，惟插秧期延後 1 個月。

- 高粱：

  視田間土壤含水量與降雨量多寡，增減灌溉次數。

  - 高粱播種後灌至 6 分滿，以促進種子發芽。
  - 中耕後 (約 30 日) 灌水 1 次至畦溝 7 分滿。
  - 抽穗開花期再灌水 1 次至畦溝 7 分滿。

- 大豆：

視田間土壤含水量與降雨量多寡，增減灌溉次數。

- 秋作大豆播種後，灌溉 1 次至畦溝 6 分滿。
- 秋作大豆播種後 30 日約為始花期，灌溉 1 次至畦溝 7 分滿。
- 秋作大豆播種後 50 日約為幼莢形成期，灌溉 1 次至畦溝 7 分滿。
- 秋作大豆播種後 70 日約為莢果充實期，灌溉 1 次至畦溝 7 分滿。

- 甘藷：

春夏作定植後灌水至畦溝 6 分滿，莖葉生長期至塊根膨大期間，約每 20 日灌溉 1 次，視田間土壤含水量與降雨量多寡，增減灌溉次數，塊根成熟期不灌溉。

圖二、流量計及電動閥控制水稻灌溉。

圖三、水位計及智慧灌溉系統監測，並控制灌溉水量。

1.3 最適灌溉模組

- 水稻延後插秧：

北部 1 期稻作若於 2 月下旬至 3 月上旬插秧，整地用水量大且集中，缺水時容易造成灌溉分配不足。若延後至 4 月上旬插秧，可降低水庫與埤塘的供水壓力，並延長水庫蓄水緩衝期。

若採早熟品種桃園 5 號在 4 月插秧，生育期由 125 日縮短至 107 日，每公頃產量達 4,642 kg，與慣行插秧相近，且在高溫環境下仍能保持優良品質，白堊質率低於 10%。北部稻作慣行栽培需水量，每期作含整地約需 850 至 1,000 mm 之灌溉，CROPWAT 計算的作物需水量為 1 期稻作 601 mm、延後插秧 603 mm。

- 輪作制度：

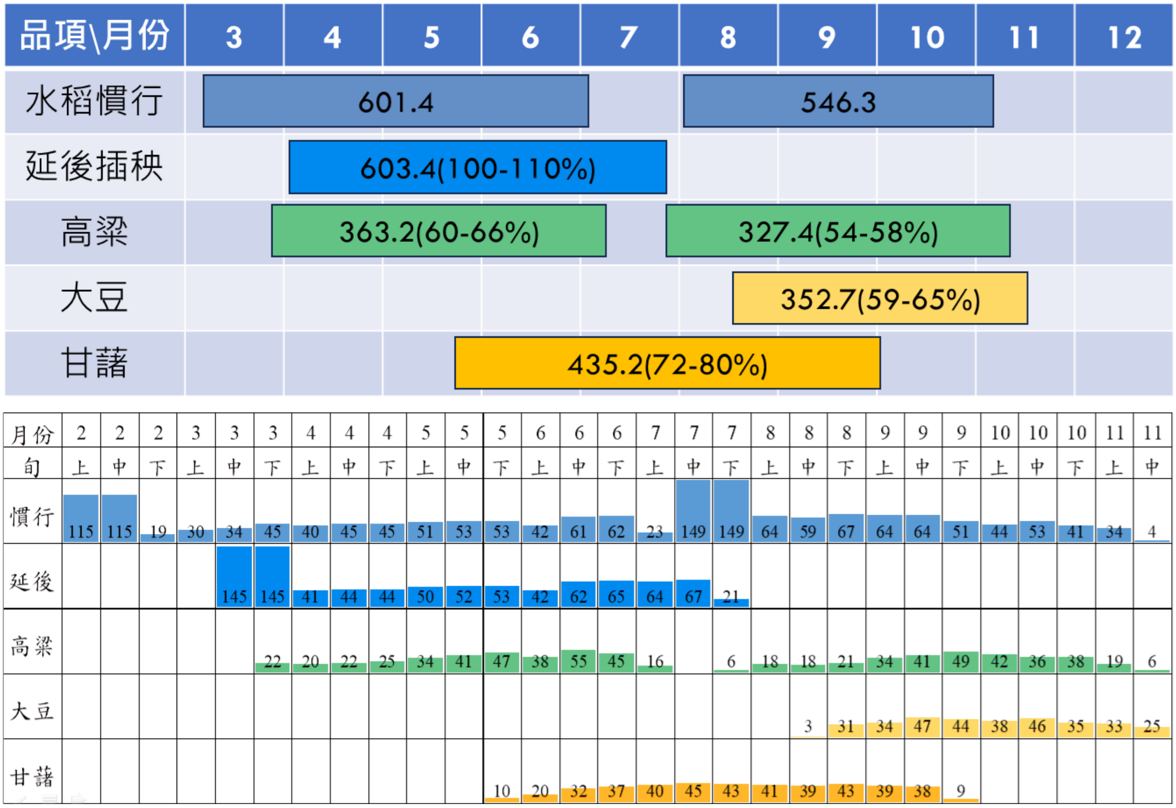
在春雨延宕或水庫蓄水不足時，可將 1 期稻作改為春作高粱或春夏作甘藷，以避免 2 月整地插秧的高耗水需求。水稻灌溉量相比，雜糧灌溉需求低，高粱為 327-363 mm，大豆為 353 mm，甘藷為 435 mm，可節省 20-46% 的用水量。

- 灌溉策略：

透過每旬需水量甘特圖，可針對不同旱情情境，輔導水稻田區，視情況將部分田區轉作雜糧或休耕，以兼顧農友收益與水源調度，但仍須注意雜糧作物若種植於排水不良的田區，會導致產量下降與品質不良，並把握適地適時適種原則。

1.4 結語

綜合以上策略，北部地區的小尺度最適灌溉模組以「延後插秧」錯開用水尖峰與「1 期水稻 2 期雜糧輪作」節省灌溉用水量為核心，並搭配每旬需水量甘特圖進行決策 (圖四)，可在不影響水稻產量與品質的情況下，分散用水需求並提升調度彈性。此模式能有效降低春耕初期用水壓力，且搭配轉作可節省 20-46% 的灌溉水量，並減少田間管理的人力投入。透過田區用水平衡與灌溉量實測數據的驗證，可提供農業與農田水利單位具體依據，推動區域內更精準、永續的水資源管理。



圖四、每旬需水量 (mm) 甘特圖 (括號內百分比係相對於水稻慣行 2 個期作之需水量所占比例，用以說明轉作其他作物時，其需水量相當於水稻慣行栽培的百分比)。

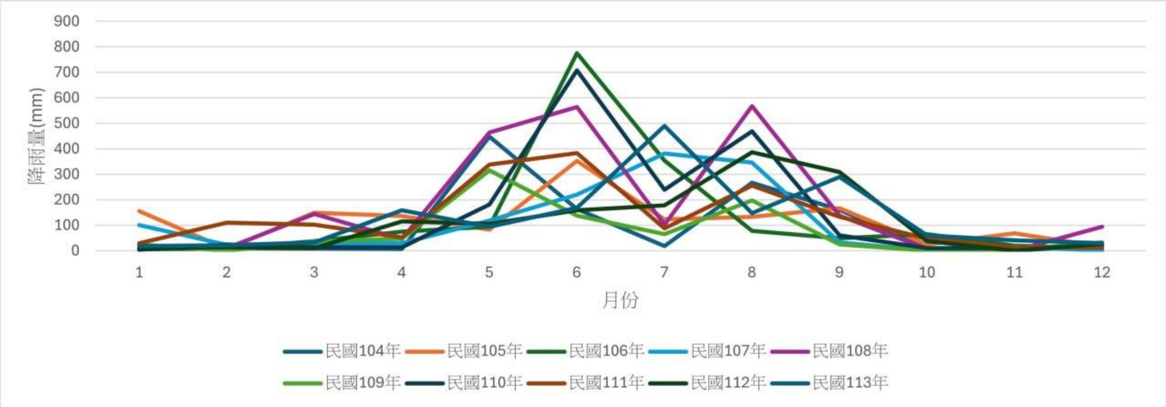
2. 中部小尺度

農業部農業試驗所/蔡璿如/副研究員

2.1 背景介紹

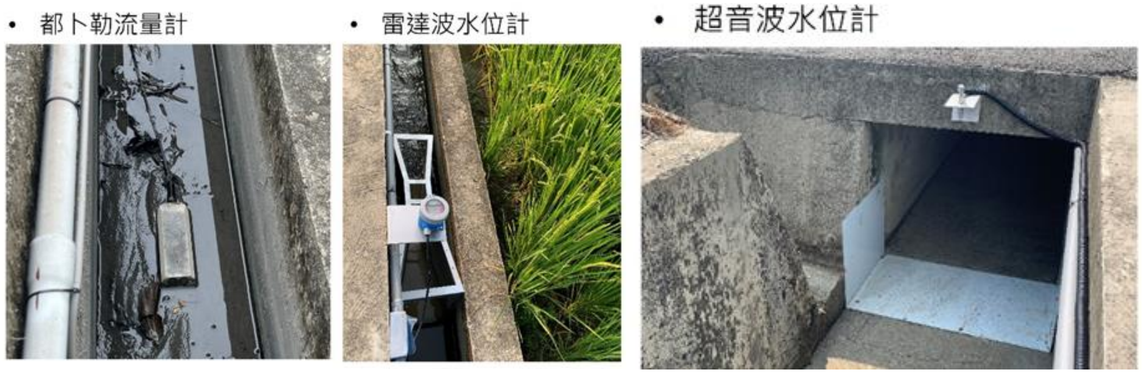
依據農業部農糧署農情報告資源網資料，113 年全臺水稻種植面積約 24 萬公頃，中部地區 (臺中、彰化、南投) 占約全臺之 29%，水稻為需水量大之作物，農業水資源缺乏將對水稻生產造成嚴重影響，因此發展灌溉策略有其必要。玉米及甘藷等旱作相對需水量較少，以精準灌溉、提升水分利用效率為目標，食用玉米全臺種植面積約 14,514 公頃，中部地區占約 7%，而甘藷全臺種植面積約 9,404 公頃，中部地區占約 22%，針對臺灣 3 項大宗作物水稻、食用玉米及甘藷建立中部地區最適灌溉模組。

中彰投地區之農業灌溉主要來源為地表逕流水，烏溪流域介於臺中、南投及彰化 3 縣市，目前並無水庫設施，其水源主要供作南投、彰化地區之農業用水及公共用水；濁水溪流域主要位於南投縣境內，南北兩岸的地面水資源主要供應南投、彰化及雲林地區的農業用水及公共用水。由於地表逕流水受降雨量多寡及時空分布差異影響大，中部地區降雨集中於 6-8 月，11 月至翌年 4 月為乾季，通常乾季雨量約為全年雨量之 1/5-1/4。以臺中霧峰農業試驗所測站之降雨資料為例 (圖一)，各年度間相同月份差異大，春季常遭遇降雨缺乏或分布不均問題，因此 1 期作於 2-3 月栽種初期常導致農業灌溉缺水，2 期作則因 10 月過後水稻已進入乳熟期，並且秋作旱作需水量亦相對較低，發生灌溉缺水機會較少。



圖一、104-113 年農業試驗所測站每月降雨資料。

本計畫 111 年起於農業試驗所內試驗田區建置中部地區小尺度示範場域，場域灌溉系統隸屬阿罩霧第 1、2 圳，由農田水利署南投工作站之霧峰、喀哩工作站管理，水源為烏溪逕流水。中部地區小尺度示範場域面積 5 公頃，共計 12 塊田區，含 3 給水渠道、3 排水渠道，分別於灌水溝設置都卜勒流量計、雷達波水位計，排水溝設置超音波水位計 (圖二)，田區設置土壤濕度計、土壤水分計，記錄流量及田間相關數據。



圖二、渠道流量量測設備。

2.2 慣行操作方式

水稻慣行栽培之水分管理需長時間保持湛水，依生育階段調整水深，幼苗期維持約 3 cm，分蘖期 3-5 cm，有效分蘖終期至幼穗形成期間排水以曝曬土面進行曬田，抽穗開花後維持 5-10 cm 湛水，黃熟期後維持水深約 3 cm 間歇性輪灌。旱作多採溝灌方式，玉米慣行灌溉依經驗約每 2 週灌溉 1 次，甘藷則扦插後給予灌水 1 次，2 週後視土壤含水變化與降水情況調整灌溉，約每月給予灌溉 1 次。

2.3 最適灌溉模組

水稻灌溉管理分 3 種方式進行比較，建立最適灌溉模組，分別為 (1) 慣行灌溉，(2) 間歇灌溉 0-5 cm：採用間歇灌溉管理，將水田灌至水深 5 cm 後停止灌溉，待自然蒸發後表土無積水 (土壤仍維持濕潤狀態)，隔日再灌水至 5 cm 高，反覆乾濕交替操作。(3) 間歇灌溉-水位土面下 10 cm 始復灌：於水位退至土面下 10 cm 後復灌至 5 cm 高。3 種灌溉模式下效益比較如表一，總灌溉量約可較慣行灌溉減少 40% 需求，復灌頻率由 2 日延長至 4 日，水稻採間歇灌溉在 1 期作可提升約 2 倍水分利用效率，2 期作降雨量相對豐沛，水分利用效益提

升較不明顯。綜觀 112-114 年試驗平均結果，1 期作水稻採慣行灌溉約需 1,931 mm，採間歇灌溉 0-5 cm 約需 1,090.4 mm，總灌溉量可較慣行灌溉減少約 40%。

表一、113 年水稻不同灌溉方式效益比較 (註：1 期作/2 期作)

灌溉方式	總灌溉時數(小時)	復灌頻率(日)	總進水量(mm)	水分利用效率(kg/m^3)
慣行(CP)	233.3 /271	2.2 /2.2	2441 /1886.6	0.25 /0.37
間歇灌溉(0~5公分)	88.7 /68.7	3.9 /4.8	1255.5 /1446.9	0.50 /0.40
間歇灌溉(0~-10公分)	87.7 /72.7	3.9 /4.4	933.7 /1408	0.62 /0.40

旱作作物則以本土測得之食用玉米及甘藷之作物係數 (Kc)、蒸發散量等數據，依栽種時程配合過去五年之平均氣候資料透過 CROPWAT 程式計算之建議灌水量，視種植年之實際氣候狀況，配合積溫、降雨量滾動調整灌溉量。以 113 年春作玉米為例，採 CROPWAT 計算之建議灌溉量栽培，水分利用效率 41.5 kg/m^3 優於慣行灌溉 32.1 kg/m^3，有助提升水資源精準灌溉。

- 1 期作

評估上半年不同作物間用水量之尖峰，中部地區 1 期作水稻多於 2 月下旬插秧，依慣行灌溉管理用水高峰為分蘗期及孕穗期，時間約為 3 月下旬至 4 月上旬、4 月下旬至 5 月下旬 (圖三)，春作玉米約 3 月上旬播種，5 月下旬收穫，每旬需水量約 20 mm 左右 (圖四)，春作甘藷扦插時間視天氣狀況落在 4 月中旬至 5 月上旬，7 月下旬收穫，扦插後約需 22 mm 之灌溉量，其餘生育階段若每旬降雨達 30 mm，約可滿足每旬之需水量，不須額外灌溉 (圖五)。整合過去 2-3 年灌溉驗證結果，以水稻可調整的灌溉量為最大，以下提供 3 種水情情況 1 期作水稻調整灌溉或轉作旱作建議。

  - 水情正常

1 期作水稻採慣行灌溉約需 1,931 mm (112-114 年平均)，每旬灌溉量約 80-100 mm，3 月下旬至 4 月上旬、4 月下旬至 5 月下旬用水高峰期間平均每旬 20-250 mm，旱作以基礎需水量而言，甘藷每旬約需 30 mm、春作玉米生育初期-發育期平均 (113-114 年平均) 每旬基礎需水量約 20 mm，中後期每旬約需 25-30

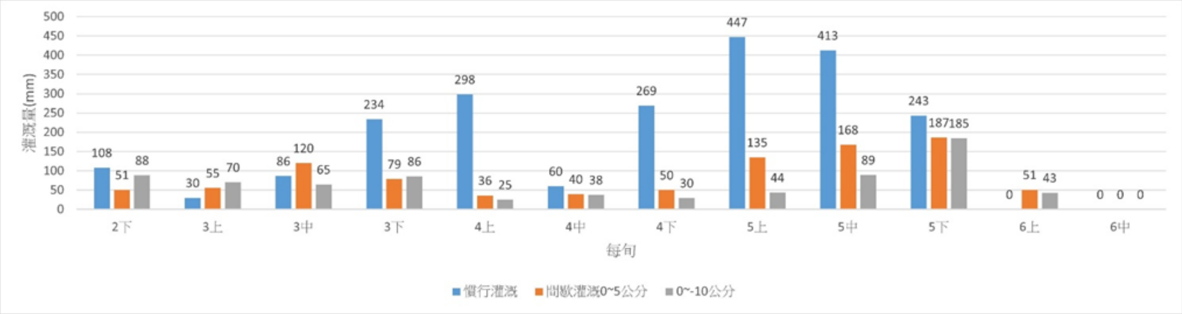
mm，視栽種面積可約略估算區域總需水量。

- 總供水量減少 40% 以內

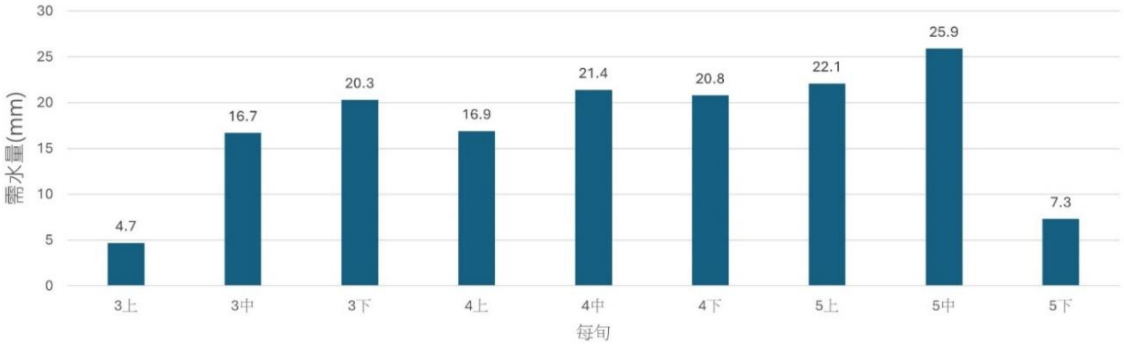
間歇灌溉下以水位 0-5 cm 復灌的模式有較好的水分利用效率，1 期作水稻採間歇灌溉約需 1,090.4 mm (112-114 年平均)，總灌溉量可較慣行灌溉減少約 40%，平均每旬灌溉量約 60 mm，高峰期平均約 100-150 mm，總供水量如減少 40% 以內可考慮採間歇灌溉，供灌頻率可延長至 4 日。水稻生育階段 3 月下旬至 4 月上旬、4 月下旬至 5 月下旬為需水量尖峰，此期間春作玉米值生長發育期對水分逆境較為敏感，若此些期間總供水有限，在調配上須留意。

- 總供水量減少大於 40%

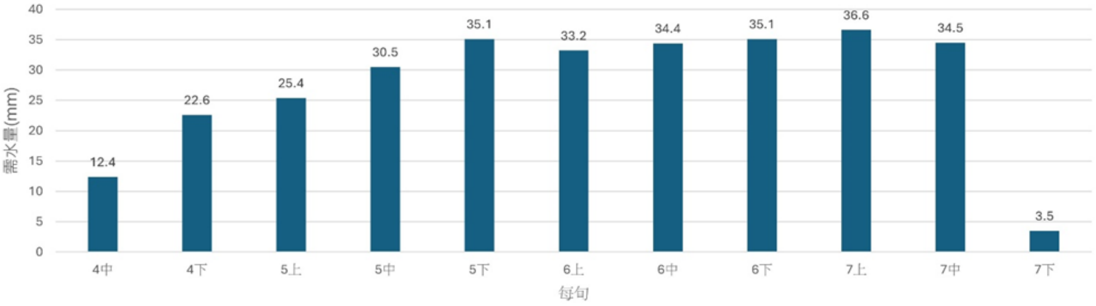
如總供水量減少大於 40%，則可考慮轉作旱作，每旬平均甘藷需 30 mm、玉米 20 mm，視總供水庫存量調整栽種面積。



圖三、113 年 1 期作水稻 3 種灌溉處理每旬灌溉量。



圖四、113 年春作玉米推估灌溉量。

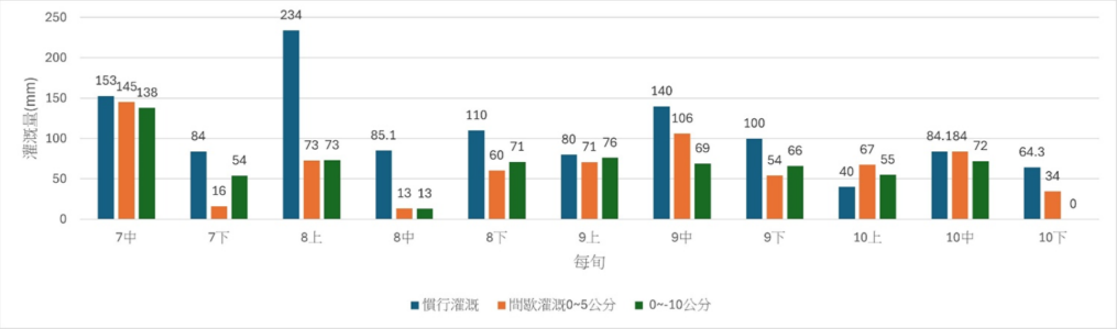


圖五、113 年春作甘藷推估灌溉量。

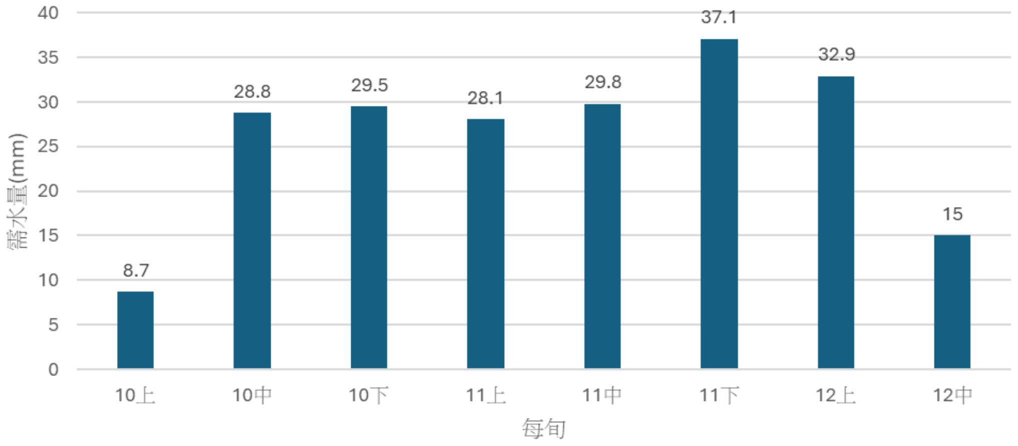
- 2 期作

2 期作水稻於 7 月下旬插秧，9 月起中部地區雨季結束，適逢水稻生育階段進入幼穗形成期，9 月中下旬為用水高峰 (圖六)，因 8 月仍為中部地區雨季時節，灌溉水缺乏問題相對較少，倘若發生水資源不足問題，可暫時改以間歇灌溉策略，進行水資源調度。

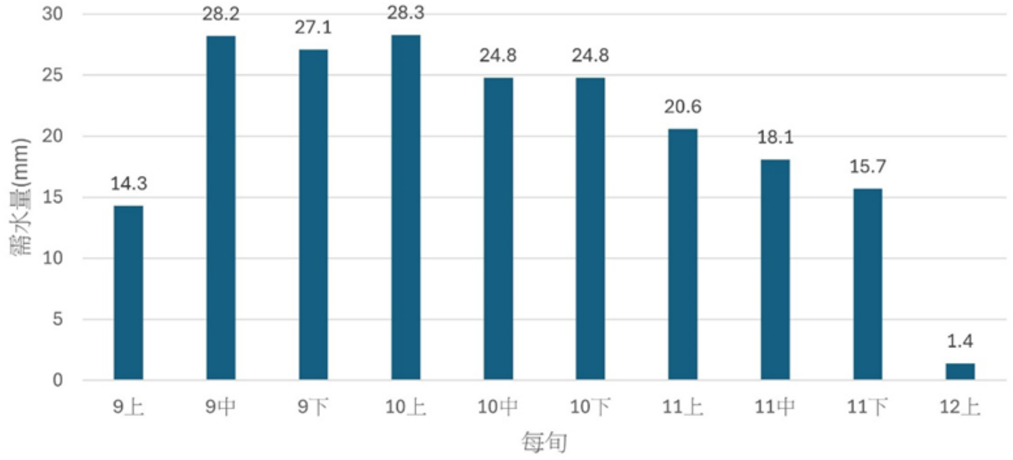
秋作玉米於 9 月下旬至 10 月上旬間播種，12 月收穫，各生育階段每旬需水量約 30 mm 左右 (圖七)，秋作甘藷扦插時間落在 9 月上旬，扦插後約需 22 mm 之灌溉量，9 月至 10 月每旬約需 25-30 mm，秋作後期因溫度相對較低，11 月後每旬需水量約 20 mm 以下，12 月上旬收穫 (圖八)。



圖六、113 年 2 期作水稻 3 種灌溉處理每旬灌溉量。



圖七、113 年秋作玉米推估灌溉量。



圖八、113 年秋作甘藷推估灌溉量。

2.4 結語

農業水資源調配實際需依作物種類、栽種時間及面積做全面性評估，搭配中部地區的降雨型態，水稻栽培之用水高峰及玉米水分敏感時期為 3 月下旬至 4 月上旬、4 月下旬至 5 月下旬及 9 月中下旬，需多加留意灌溉之供給。灌溉模組目的在於提升作物水分利用效率，在供水不足狀況下可作為灌溉參考，水稻採間歇灌溉有較佳水分利用效率，總灌溉量約可較慣行灌溉減少 40% 需求，復灌頻率可由 2 日延長至 4 日，提供區域輪灌管理參考。旱作相對需水少，朝精準灌溉目標建立灌溉模組，透過 Kc、蒸發散量及地區氣象資料等參數推估建議灌溉量，根據作物的實際需求與環境條件，於適當的時間點給予灌溉，確保資源與環境的整體效益最大化。

3. 南部小尺度

農業部臺南區農業改良場/楊智哲/助理研究員

3.1 背景介紹

嘉義與臺南地區栽培面積最大的作物前兩名分別為水稻與硬質玉米。其中，1 期作水稻面積約為 18,200 公頃和 14,700 公頃，2 期作則約為 11,700 公頃和 10,000 公頃，合計占全臺水稻面積的 22%；硬質玉米的種植面積分別約 7,000 公頃和 1,100 公頃，占全臺總面積達 73%。近年因極端氣候影響，降雨量劇烈變化，導致缺水與停灌情況發生頻率升高，平均每 3-5 年就會遇到 1 次 (表一)。其中，水稻是需水量最高的作物，而硬質玉米則為目前水田主要的轉作選項。因此，如何有效利用水資源、提升灌溉效率，已成為當前的重要課題。

表一、近 20 年水稻缺水停灌情形

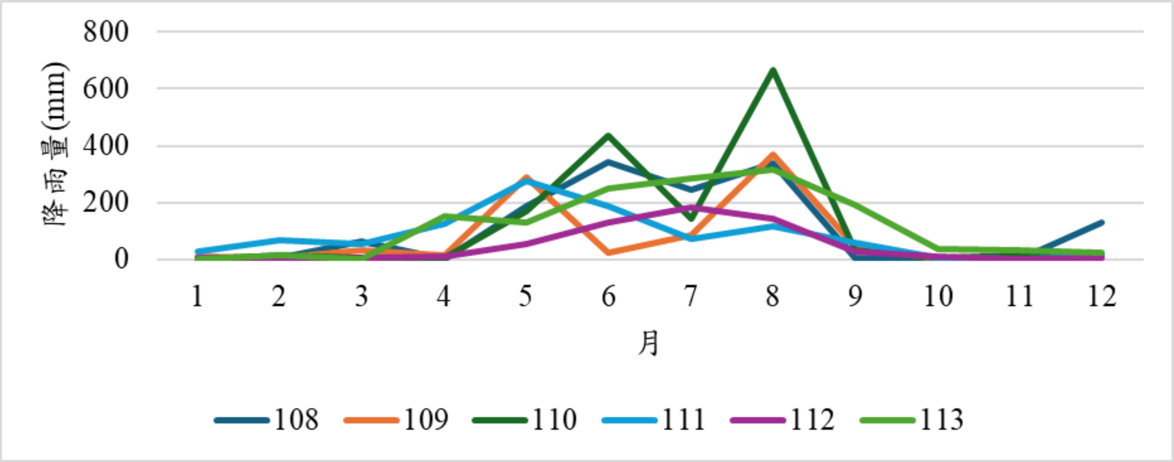
年度	期作別	停灌區域/縣市
93	第 1 期	桃竹苗、嘉南地區
95	第 1 期	桃竹苗、嘉南地區
99	第 1 期	桃竹苗、嘉南地區
104	第 1 期	新北、桃竹苗、臺中、雲嘉南地區
107	第 1 期	桃竹苗、嘉南地區
109	第 2 期	桃竹苗部分地區
110	第 1、2 期	竹苗、臺中 (1 期)、嘉南 (1、2 期)

※111 年開始實施「大區輪作」，1 期作改種旱作或休耕。

嘉義、臺南地區的主要水稻栽培區水源可分為灌區與非灌區。本區域屬於曾文–烏山頭水庫灌區，田區透過嘉南大圳引水灌溉。灌區內水稻栽培型態包括雙期作、單期作及 3 年 2 作，面積分別約為 22,900 公頃、9,100 公頃與 34,500 公頃。至於非灌區田區，主要依賴地下水，作物以雜糧旱作為主。

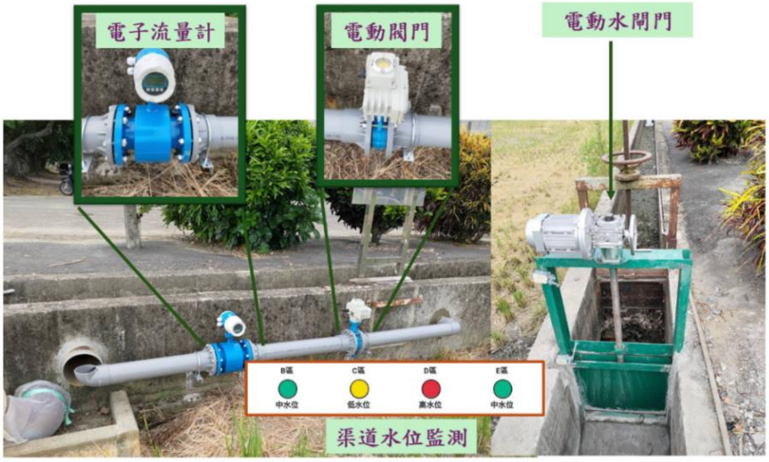
嘉義、臺南地區的雨季集中於 5-9 月，旱季則為 10 月至翌年 4 月，雨旱季降雨量比約為 6 : 1 (圖一)。1 期作水稻用水僅靠降雨，不足以供應全期生長所需，必須仰賴水庫供水，若水庫蓄水不足，1 期作水稻便面臨停灌或轉作的風險。另方面，若同一條水路的上、中、下游田區插秧期接近，則在需水量較大的時期 (如整地、施用除草劑及曬田後)，各田區用水高峰期

重疊，造成短時間需求暴增而供水不足，下游田區甚至可能無水可用。因此，如何分散用水高峰期以確保供水穩定，成為重要的課題。



圖一、108-113 年南改鹿草分場測站每月降雨資料。

南部地區小尺度驗證場域設置於嘉義縣鹿草鄉，面積約 5 公頃，共劃分 25 塊田區。場域內設有 1 座蓄水池，有效蓄水容量約 2,500 m^3，位於灌區水路末端，水源由曾文–烏山頭水庫經嘉南大圳引入蓄水池，再以抽水機抽送至渠道供灌。場內另設有 1 口地下水井，出水量為每小時 30 m^3，每旬最大出水量可達 6,000 m^3。井水可直接引入渠道灌溉，亦可導入蓄水池儲存。場域配置南、北兩條渠道，總長約 850 m，並以電動水閘門分隔為 5 大區，每區渠道設有簡易水位計，能及時顯示渠道水位高度 (圖二)。渠道壁上設有引水孔可將水分送至各田區，每塊田區均配備電子流量計與電動閥，並可透過手機遠端控制電動閥，實現精準供灌管理 (圖二)。



圖二、小尺度場域現場配置情形。

3.2 慣行操作方式

由於曾文–烏山頭水庫灌區面積廣，需採取「分區、分期、分段」供水，灌區內水稻田區於供水後 1 週開始插秧，此時許多田區需大量用水進行整地作業，田間用水量短時間內進入高峰，灌溉水路上游田區農友自行設置擋水板提升渠道水位增加進水量，導致下游田區無水可用。插秧後 7-10 日成活期連續供水，之後採供水 5-7 日停水 6-8 日方式供灌至收穫前 10-15 日停灌，期間視田區降雨狀況調整供水，如遇缺水則延長供灌輪距以撐過枯水期。旱作硬質玉米大多位於非灌區或輪作區，採溝灌或看天田的方式管理，看天田的產量受降雨量影響大。

3.3 最適灌溉模組

- 水稻

曾文–烏山頭水庫灌區因供灌面積大，須採分段供水，一般田區若無其他自有水源，只能依照供水時間進行灌溉。當水庫蓄水量不足，將視蓄水量決定可供灌面積，其餘田區則採停灌措施。為避免用水峰期過於集中導致下游田區無水可用，1 期作可將插秧期分散於 1 月下旬、2 月上旬、2 月中旬、2 月下旬，114 年 1 期作整地用水量約 100 mm，生育期間用水量分別為 801.5、868.5、892.0、923.1 mm，4 個插秧時間的降雨量分別為 357、446、572、569 mm，以整地期至插秧後 10-20 日施用除草劑階段以及曬田後和抽穗階段用水量最多。

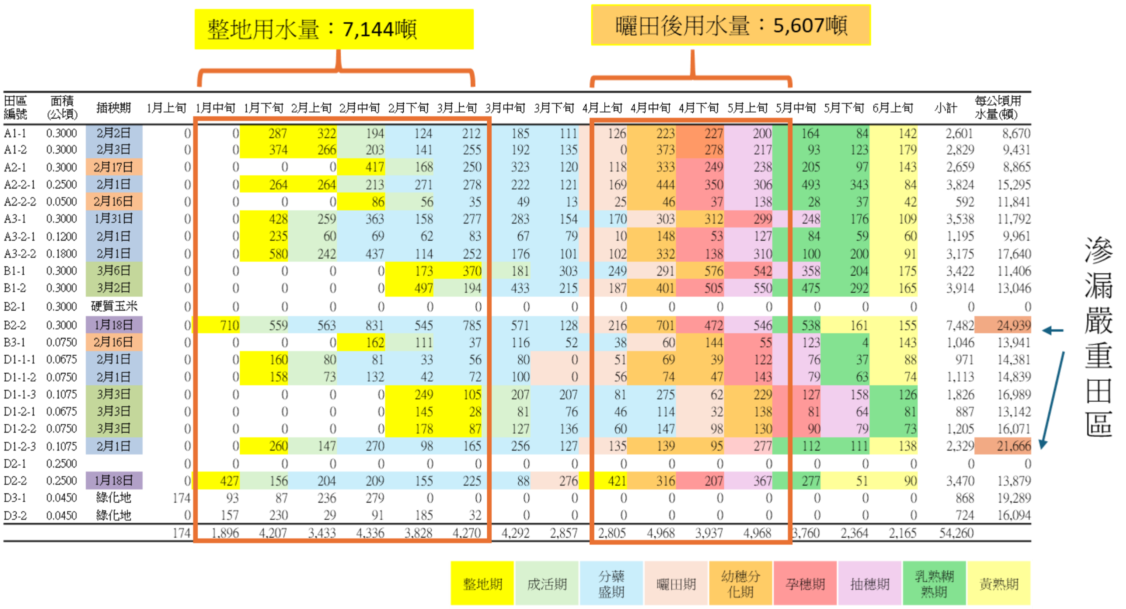
113 年 2 期作分別於 8 月初、8 月上旬、8 月中旬插秧，2 期作水稻於 7 月下旬及 8 月上旬降雨量分別為 234、183 mm，由於降雨量充足，多數田區於整地前已吸飽水因此整地用水量較少，生育期間灌溉水量分別為 463.3、644.5、423.6 mm，生育期間降雨量分別為 796、812、577 mm，每旬灌溉水量介於 30-90 mm，因 113 年生育初期降雨量較多，生育期間以曬田後和抽穗階段用水量最多。

1 期作延後插秧生育期間總灌溉水量並無減少，但分散插秧期能避免用水峰期集中使所有田區都能充分獲得水源，同時能增加降雨利用，減緩枯水期水庫供水壓力。1 期作乾季 (1-4 月) 平均每旬需水量約 60-120 mm，雨季 (5-6 月) 平均每旬需水量約 40-60

mm。2 期作插秧期提早至 7 月中旬插秧，可增加 7 月中下旬降雨利用，2 期作雨季 (7-9 月) 平均每旬需水量約 30-60 mm，乾季 (10-11 月) 平均每旬需水量約 50-100 mm。

在灌溉水路末端設置蓄水池，可收集並儲存上游多餘雨水和灌溉水，避免資源流失；當末端田區需水時，蓄水池能提供部分供水，以分攤用水高峰期的壓力。

田區的灌溉水量多寡除了與作物的蒸發散量以及土壤向下滲漏量有關外，土壤橫向的滲漏也是影響灌溉水量的重要因素，透過流量計的紀錄發現，橫向滲漏嚴重的田區，生育期間用水量可達正常田區的 1.9 倍 (圖三)。因此，於 2 期作水稻收穫後以「田埂修築機」將四周田埂重新修補並加寬，修補後田區整地用水量為未修補時的 50% (表二)，大幅改善滲漏情況，減少水資源浪費。



田區編號	面積(公頃)	插秧期	1月上旬	1月中旬	1月下旬	2月上旬	2月中旬	2月下旬	3月上旬	3月中旬	3月下旬	4月上旬	4月中旬	4月下旬	5月上旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	小計	每公頃用水量(噸)
A1-1	0.3000	2月2日	0	0	287	322	194	124	212	185	111	126	223	227	200	164	84	142	2,601	8,670
A1-2	0.3000	2月3日	0	0	374	266	203	141	255	192	135	0	373	278	217	93	123	179	2,829	9,431
A2-1	0.3000	2月17日	0	0	0	0	417	168	250	323	120	118	333	249	238	205	97	143	2,659	8,865
A2-2-1	0.2500	2月1日	0	0	264	264	213	271	278	222	121	169	444	350	306	493	343	84	3,824	15,295
A2-2-2	0.0500	2月16日	0	0	0	0	86	56	35	49	13	25	46	37	138	28	37	42	592	11,841
A3-1	0.3000	1月31日	0	0	428	259	363	158	277	283	154	170	303	312	299	248	176	109	3,538	11,792
A3-2-1	0.1200	2月1日	0	0	235	60	69	62	83	67	79	10	148	53	127	84	59	60	1,195	9,961
A3-2-2	0.1800	2月1日	0	0	580	242	437	114	252	176	101	102	332	138	310	100	200	91	3,175	17,640
B1-1	0.3000	3月6日	0	0	0	0	0	173	370	181	303	249	291	576	542	358	204	175	3,422	11,406
B1-2	0.3000	3月2日	0	0	0	0	0	497	194	433	215	187	401	505	550	475	292	165	3,914	13,046
B2-1	0.3000	硬質玉米	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2-2	0.3000	1月18日	0	710	559	563	831	545	785	571	128	216	701	472	546	538	161	155	7,482	24,939
B3-1	0.0750	2月16日	0	0	0	0	162	111	37	116	52	38	60	144	55	123	4	143	1,046	13,941
D1-1-1	0.0675	2月1日	0	0	160	80	81	33	56	80	0	51	69	39	122	76	37	88	971	14,381
D1-1-2	0.0750	2月1日	0	0	158	73	132	42	72	100	0	56	74	47	143	79	63	74	1,113	14,839
D1-1-3	0.1075	3月3日	0	0	0	0	0	249	105	207	207	81	275	62	229	127	158	126	1,826	16,989
D1-2-1	0.0675	3月3日	0	0	0	0	0	145	28	81	76	46	114	32	138	81	64	81	887	13,142
D1-2-2	0.0750	3月3日	0	0	0	0	0	178	87	127	136	60	147	98	130	90	79	73	1,205	16,071
D1-2-3	0.1075	2月1日	0	0	260	147	270	98	165	256	127	135	139	95	277	112	111	138	2,329	21,666
D2-1	0.2500		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2-2	0.2500	1月18日	0	427	156	204	209	155	225	88	276	421	316	207	367	277	51	90	3,470	13,879
D3-1	0.0450	綠化地	174	93	87	236	279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	868	19,289
D3-2	0.0450	綠化地	0	157	230	29	91	185	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	724	16,094
			174	1,896	4,207	3,433	4,336	3,828	4,270	4,292	2,857	2,805	4,968	3,937	4,968	3,760	2,364	2,165	54,260	

圖三、小尺度場域田區生育期間用水量。

表二、水稻 2 期作收穫後不同田埂修補程度隔年 1 期作田區整地用水量

年度	田埂	整地用水量 (mm)	整地用水量 %
112	無修補作	206	100.0
113	四周修補作	163	79.1
114	四周修補且加寬	100	48.5

- 硬質玉米

秋作硬質玉米採溝灌方式，於 9 月下旬播種，需在 11 月中旬至 12 月間進行灌溉。此時正值 2 期作水稻接近收穫期，對水分需求較少，因此不會與水稻競爭灌溉用水。若供水充足，生育期間可進行兩次灌溉，分別在齊膝高期與抽穗吐絲期，2 次灌水量分別為 105 mm 與 92 mm，間隔約 1 個月，每公頃平均產量可達 7,262 kg。若供水有限，則可僅在抽穗吐絲期灌溉 1 次，灌水量為 127 mm，每公頃產量約 6,181 kg (表三)。若供水嚴重不足，則可不進行灌溉，改採看天田，產量則受降雨量影響較大。

表三、秋作硬質玉米不同灌溉方式灌溉水量及產量

灌溉方式	株高 (cm)	灌溉水量 (mm)	產量 (kg)
灌溉 1 次 (齊膝高)	173.0	105.3	5,395.2
灌溉 1 次 (抽穗吐絲期)	144.7	127.6	6,181.2
灌溉 2 次 (齊膝高、抽穗吐絲期)	195.0	197.8	7,262.4

3.4 結語

嘉義、臺南地區在曾文–烏山頭水庫灌區可透過調整插秧期與作物選擇，達到水資源調度與灌溉效率的最佳化。1 期作水稻透過分散插秧期，不僅能有效錯開用水高峰，避免與下游田區搶水，同時增加降雨利用率，減輕水庫枯水期壓力。秋作硬質玉米則在 2 期作水稻收穫期進行灌溉，不與水稻競爭水源，且可依供水情況彈性調整為 2 次或 1 次灌溉，在兼顧產量的同時提升灌溉水利用效率。

此外，場域內配置蓄水池、地下水井及智慧化管控系統，可靈活調度多元水源，並透過遠端控制閥門實現精準供灌，不僅能降低人力操作成本並提升整體管理效率；同時，末端蓄水池的設置亦可收集並儲存上游剩餘用水，避免水資源浪費，並在田區需水時提供部分補充，有效緩解用水高峰期的供水壓力，進一步提升灌區整體用水效益與農業生產的穩定性。

4. 東部小尺度

農業部臺東區農業改良場/廖勁穎/助理研究員

4.1 背景介紹

東部地區為臺灣重要水稻產地，尤其花東縱谷的稻作最為集中，依農糧署統計，臺東縣及花蓮縣稻穀與白米零售、躉售價格穩居全國冠、亞軍，突顯優良的稻米品吸引消費者青睞。依據 113 年農業統計年報，花東地區水稻收穫面積達 2.89 萬公頃，年產稻穀約 13.45 萬公噸，花東地區水稻產業年產值粗估 35.32 億元；花東地區稻作農戶數推估 5,000-5,500 戶，佔兩縣農牧戶數 16.87%；顯示稻作為花東地區重要農產業之一，為地方農民穩定的經濟來源。

水稻以湛水栽培為主，灌溉水的穩定供應對生長過程至關重要，水資源的可用性直接影響產業的永續發展。東部地區的蓄水設施缺乏水庫，僅少數地區有埤塘及調整池，灌溉用水主要依賴河川引水；而河川水資源主要來自於降雨。依照中央氣象署區分 5 個雨量時期，東部地區降雨特徵為：冬季 (12 月至隔年 1 月) 東部位於東北季風迎風面，每日平均雨量大約為 3 mm；約占年累積雨量的 7-8%。春雨 (2-4 月) 東部在春雨季的雨量比冬季增加，大約是每日 3-4 mm；約占年累積雨量的 11%。梅雨 (5-6 月) 東部梅雨季的雨量約占年累積雨量的 17%，低於夏季及秋季。夏季 (7-9 月) 夏季雨量是臺灣最重要水資源，其主要來源為颱風，東部地區夏季雨量約占年累積雨量近 4 成，為 1 年之中比率最高的雨量。秋季 (10-11 月) 秋季雨量在東部年累積雨量高達 26%，僅次於夏季雨量。綜上所述，東部地區 5 個降雨時間比例相對平均，但近年來隨著全球氣候變遷加劇，臺灣面臨降雨型態改變、乾旱期延長及水資源分配困難等挑戰。以 109 年為例，颱風為臺灣主要降雨來源，但該年度出現全年無颱風登陸，且梅雨季雨量偏少，導致全年累積雨量大減，造成了嚴重的缺水問題。水資源不均衡直接影響農業生產，尤其是東部地區以水稻為主的農產業。因此，如何提升農業用水效率、開發精準灌溉技術，成為迫切需要解決的問題。

東部小尺度場域為執行「東部地區小尺度灌溉示範場域建置計畫」所建立，場域設置於臺東縣關山鎮 (圖一)，東部地區小尺度示範場域面積 5 公頃，共劃分 8 塊田區，每塊田區均配合入水孔數量設置電磁式流量計，計入水口 13 個，出水口 12 個，共 25 部流量計，田區設置土壤濕度計、土壤水分計及氣象站 1 座，並設置主機 1 台，記錄流量及田間相關數據，主機結合物聯網技術，串聯感測器即時監測田間氣象、灌溉水量及土壤水分，並回傳資料至系統平台 (圖二)。場域灌溉系統隸屬關山大圳幹九給支線，由農田水利署關山工作站管理，水源由卑南溪引入；由關山大圳供應區域包含關山鎮、海端鄉、池上鄉及鹿野鄉，灌溉總面積達 2,977 公頃；若逢枯水期會採取分區、分期、分段供水，給水期間視河川進水量，如水量充足則正常供水。場域若有輪供，為灌 11 日停 3 日。

圖一、東部地區小尺度示範場域位置。

圖二、東部地區小尺度示範場域設備。

4.2 慣行操作方式

水稻慣行栽培，以關山為例，第 1 期作於去年 12 月下旬至今年 1 月上旬粗整地，粗整地後 1-2 週灌水濕潤土壤，依照栽培管理需求調整湛水深度及時長，粗整地後 2-3 週進行細整地，隨後拉平，粗整地至拉平為整個栽培週期用水量最集中的時期。拉平後隨即插秧，插秧後水分管理為長時間保持湛水，依生育階段調整水深：

- 幼苗期至分蘗始期：維持約 3 cm 水深，若遇寒流提高水深至 5-7 cm。
- 分蘗始期至分蘗終期：維持水位 3-5 cm。
- 有效分蘗終期至幼穗形成始期：排水曬田以抑制無效分蘗，曬田時長約 5-10 日。
- 幼穗形成期：採用 5-10 cm 深水灌溉約 10 日。
- 孕穗期：輪灌 1-2 次維持土壤濕潤。
- 抽穗後至糊熟期：維持 5-10 cm 深水灌溉。
- 黃熟期：後維持水深約 3 cm 間歇性輪灌，至收割前 5-7 日斷水放乾。

第 2 期作於 7 月上旬至中旬整地，插秧後無寒流問題，但若有藻類過多或窒息病發生跡象，會採用 5 cm 水深配合流放灌溉；餘操作方式略同於第 1 期作，但高溫縮短水稻生育期，各期操作時間略短於第 1 期作。於關山大圳水源不足，採灌 11 日停 3 日輪供時，會於停供前灌水至目標深度。

4.3 最適灌溉模組

- 提高水稻田間水資源效率：田間栽培過程中，水資源消耗及補充可來自 3 部分：
  - 蒸發散量 (Evapotranspiration)

    為作物生長時所需蒸散與附近土壤蒸發水分之總和，即作物需水量；在耕作上，可藉由調整灌溉模式、栽培時期略微降低，112 年度試驗結果，第 1 期作以 4 個插

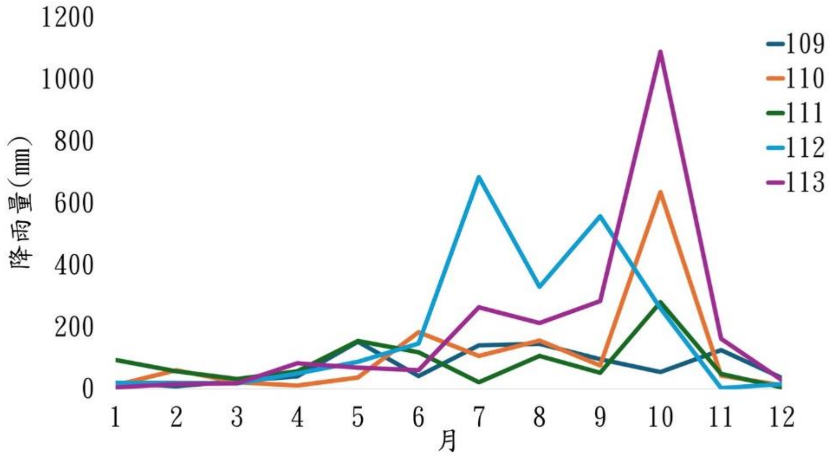
秧期進行慣行灌溉，水利用效率分別為 1 月中旬 0.89 kg/m^3、1 月下旬 0.56 kg/m^3、2 月上旬 0.59 kg/m^3 及 2 月中旬 0.41 kg/m^3，顯示延後插秧，水稻生育期溫度提高，生育總時間縮短，灌溉次數減少，可降低灌溉水量。

- 滲漏量 (Percolation)

包括垂直滲漏 (直滲) 及橫向滲漏 (側滲)，為灌溉水受重力影響，入滲土層至根系以下，或沿側向離開田區，無法為作物吸收。為影響灌溉用水量最大因素。以較大範圍區域而言，水稻田灌溉水滲漏以直滲為主，滲漏量約為側滲的 2-10 倍。側滲集中於乾濕邊界與田埂附近，濕田與乾田交界，側滲量可達直滲量約 10 倍，濕田與濕田交界多以直滲為主，約為側滲量的 2-10 倍。田間管理方式也會影響滲漏，側滲量在田埂受鼠害等破損時提升。耕作方式則影響直滲；犁底層可顯著抑制直滲，深耕等方式打破犁底層後直滲量提高；使直滲率增加 3.7 倍，直滲量增加了 1.5 倍。112-113 年度試驗結果，滲漏田及非滲漏田，第 1 期作總灌溉水量相差 1.56 倍。為避免田間灌溉水流失，應先整修田埂，降低田間側滲量，若降雨時逢水稻需水期，也可有效保留雨水作為灌溉使用；整地作業避免深耕破壞犁底層，減少直滲，對於降低水稻湛水所需灌溉量有助益。

- 有效雨量 (Effective Rainfall)

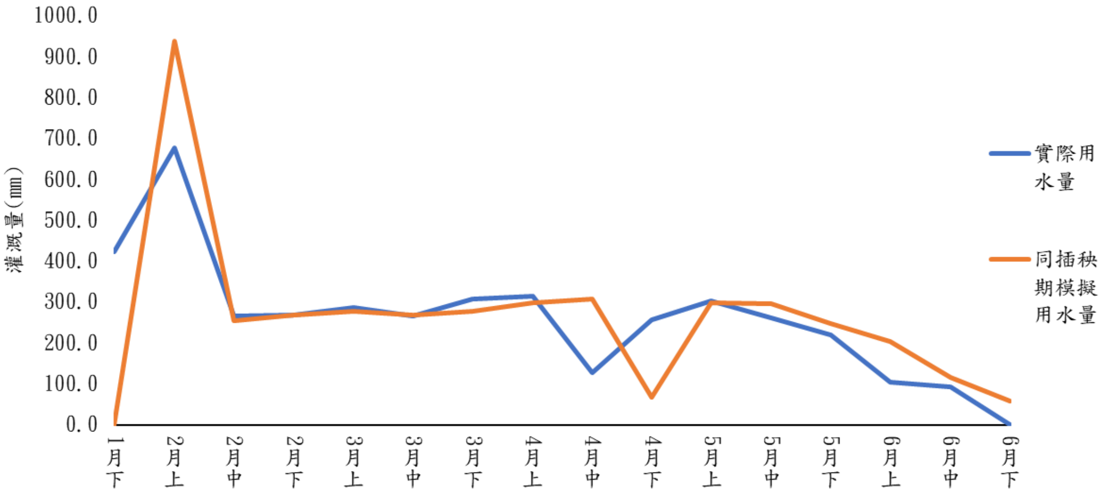
為降雨可補充灌溉，所節省之水量，降雨時若雨量過大過小，作物無法利用，仍不屬於灌溉用水。以關山地區為例 (圖三)，109-113 年，年累積雨量最小為 109 年 885 mm，最大為 113 年 2,287.5 mm，但 113 年 10 月受康芮颱風影響，單月雨量達 1,089.5 mm，作物僅可利用少部分雨量作為生育之用。



圖三、關山地區 109-113 年降雨量。

- 灌溉策略

東部地區第 1 期作水稻插秧時間，為去年 12 月下旬至今年 3 月上旬，越往北插秧時間越晚，慣行灌溉用水高峰最高為整地期，時間約插秧前 10-20 日左右，次為分蘗期，約插秧後 10-30 日間，再次為幼穗分化期至抽穗期，約插秧後 55-65 日。試驗結果顯示(圖四)，錯開插秧期，可將場域尖峰用水量降低 30% 以上，有效避免過於集中造成假性斷流。第 1 期作於曬田後氣溫明顯提高，水稻生育時間縮短，錯開插秧期時間需在 20 日以上，避免幼穗分化期至抽穗期第 3 次用水高峰出現，導致灌溉資源分配失衡，影響生產效率。



圖四、分散插秧期對總用水量之影響。

第 2 期作受到第 1 期作收穫時間影響，整地插秧錯開時間較短，可採用乾濕交替灌溉：

- 插秧至插秧成活 (約分蘗始期)：插秧後 5-7 日，維持約 3 cm 水深。
- 分蘗始期至分蘗終期：以土壤水位正負 5 cm 的復灌模式進行。
- 有效分蘗終期至幼穗形成始期：排水曬田以抑制無效分蘗。
- 幼穗形成期：採用 5-10 cm 深水灌溉約 10 日。
- 孕穗期：輪灌 1-2 次維持土壤濕潤。
- 抽穗後至糊熟期：維持 5-10 cm 深水灌溉。
- 黃熟期：後維持水深約 3 cm 間歇性輪灌，至收割前 5-7 日斷水放乾。

乾濕交替灌溉可有效降低用水量，適合水源有限的地區；慣行灌溉為農友熟悉的操作模式，簡便易行，但水資源利用效率較低。因此，若水源供應穩定，可持續採慣行灌溉；若水量緊迫或需提升灌溉效率，則以乾濕交替模式較為適合。

4.4 結語

水稻為東部地區重要產業，且灌溉依賴河川引水，若於水稻生育敏感時期供水不足，嚴重影響產量及品質。建立東部地區最適灌溉模組，目的為維持水稻產業，在水資源有限時，錯開用水尖峰，避免過於集中造成假性斷流，使水資源調度最佳化，讓耕作管理順利進行；在水資源緊迫時，讓水稻生育關鍵時期可獲得充分灌溉，提高水分利用效率；以期讓東部稻米產業永續發展。

專有名詞

- 入滲率 (Infiltration rate)

水分進入土壤表層並向下滲透的速率。單位：m/s、cm/hr 或 mm/hr。

- 土壤容易利用有效水分量 (Readily available moisture, RAM)

評估土壤可提取水量的重要指標稱為土壤容易利用有效水分量，CROPWAT 模型設定 RAM 約為土壤有效水分含量之 60%。

- 土壤耗水限值 (Critical depletion)

當作物累積蒸發散量達土壤耗水限值時啟動灌溉，CROPWAT 模型以 RAM 之比值表示，且比值不大於 1，惟本研究以田間容水量之比值表示。

- 土壤張力 (Soil moisture tension)

衡量土壤中水分被毛管力和吸附力束縛的程度，數值越大代表土壤水分越難被植物吸收。單位：以水柱高度 (cm H_2O) 或千帕 (kPa) 表示。

- 土壤熱擴散係數 (Soil thermal diffusivity)

描述土壤傳遞熱能的能力，為熱傳導率 (Thermal conductivity) 與體積熱容量 (Volumetric heat capacity) 之比值，反映溫度變化在土壤中的傳遞速度。單位：m^2/s。

- 反演 (Inversion)

根據量測到的物理數據，透過數值運算求取地下物理性質分佈的過程，是將觀測資料轉換為地下模型的重要步驟。單位：依反演參數而定，如電阻率。

- 田間容水量 (Field capacity, Fc)

一般於灌溉或降雨後，待大孔隙中水分排除，土壤中水分移動幾達於停止時所測得之土壤水分含量。

- 田間灌溉需水量

「灌溉需水量」加上灌溉操作所發生的水分損失，稱之為「田間灌溉需水量」。灌溉操作之損失，則以「灌溉效率」為計算標準。

- 地電阻層析成像 (Electrical resistivity tomography, ERT)

  利用地表電極施加電流並量測電位差，反演獲得地下不同位置與深度的電阻率分佈。單位：電阻率 (Resistivity, ρ) 常用 $\Omega \cdot m$ 表示。

- 有效水分含量 (Available moisture content)

  指土壤中可供植物根系吸收利用的水分含量，通常存在於田間容水量和凋萎點之間。

- 有效雨量 (Effective rainfall)

  降雨能被作物利用的水量，稱之為有效雨量，需先扣除植物截留量 (約 3 mm)，再扣除逕流及滲漏量。

- 自然電位 (Self potential, SP)

  量測地表不同位置間的自然電位差，其訊號來源包括地下水流動、礦化作用與地球化學反應。單位：電位差 (Potential difference) 以伏特 (V) 或毫伏 (mV) 表示。

- 作物係數 (Crop coefficient, Kc)

  為作物實際蒸發散量 (ETc) 與參考蒸發散量 (ETo) 之比值，代表該作物因不同生長期距所需的蒸發散量之不同和氣候條件的差異，會與生長期距產生一該作物之生長曲線。作物係數對於灌溉管理及配水決策相當重要，透過得知該區域的氣候參數，並估算出參考蒸發散量，再乘上作物係數，即可計算該區域作物的需水量及灌溉用水量。

- 作物蒸發散量 (Crop evapotranspiration, ETc)

  實際作物在當下生長期的水分需求，可用 $ETc = ETo \times Kc$ 計算。

- 保水曲線 (Soil retention curve, SRC)

  描述土壤含水量與土壤張力間關係的曲線，用於表示土壤的保持水分能力與孔隙結構特性。

- 真實蒸發散量 (Actual evapotranspiration, ET_a)

  從地表經由蒸散作用而返回到大氣的實際水量。

- 參考蒸發散係數 (k)

隨著不同區域、植生、時間點而變化的無因次係數，目的在於調整蒸發散量估算，使其能更接近實際的植物蒸發散量。

- 參考蒸發散量 (Reference evapotranspiration, ETo)

為蒸發散量的參照標準，每日 ETo 使用 FAO 推薦的方法，以 Penman-Monteith 方程，根據 24 小時間距尺度之溫度、濕度、風速以及日射量等氣候資料計算。

- 蒸發散 (Evapotranspiration, ET)

指單位時間內，地表經由土壤水分蒸發 (evaporation) 與植物蒸散作用所損失的水量總和。蒸發與蒸散兩種過程常難以區分，故合稱為蒸發散。此參數為作物需水量估算與灌溉管理的重要依據，受氣溫、濕度、風速、日射量及作物種類與生育期等因素影響。在農業灌溉設計中常應用參考作物蒸發散量 (ETo) 與作物係數 (Kc)，以估算實際作物水分需求 (ETc)，即 ETc = Kc × ETo。

- 蒸發散分率 (Evapotranspiration fraction, ET_f)

潛熱通量與地表有效能量之比率。

- 灌溉 (Irrigation)

指透過人工方式供應水分至作物根系區，以補充天然降雨不足，確保作物正常生長與維持產量之農業水管理行為。灌溉可改善土壤濕潤度，促進養分吸收，並調節作物體內水分平衡。常見的灌溉模式包括：地面灌溉 (溝灌、漫灌)、噴灌及滴灌，其中滴灌為節水且效率最高的灌溉方式。

- 灌溉效率

灌溉系統有效地利用水的程度，需扣除灌溉操作所發生的水分損失 (例如成為水氣揮發或逕流損失)，而無法進入土壤及植物根部之部分。

作物生育期需水量

附錄 1－ 慣行水稻

桃園市新屋區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日ETc(mm/day)
1 期作	黏土	1	整地	land preparation	112/02/10	112/02/28	19	0.72	51.70	2.72
			插秧期	transplantation	112/03/01	112/03/15	15	0.97	50.72	3.38
			分蘗期	Tillering period	112/03/16	112/05/09	55	1.31	198.32	3.61
			幼穗形成期	Panicle initiation	112/05/10	112/05/16	7	1.09	24.87	3.55
			孕穗期	Booting stage	112/05/17	112/05/26	10	1.29	44.80	4.48
			抽穗期	Heading stage	112/05/27	112/06/07	12	1.14	66.99	5.58
			乳熟期	milk stage	112/06/08	112/06/20	13	1.16	57.53	4.43
			糊熟期	soft dough stage	112/06/21	112/06/27	7	1.06	39.24	5.61
			黃熟期	hard dough stage	112/06/28	112/07/02	5	0.94	25.03	5.01
			收穫 (完熟期)	Maturity period	112/07/03	112/07/03	1	0.91	4.69	4.69
2 期作	黏土	1	整地	land preparation	112/07/10	112/07/30	21	0.69	56.78	2.70
			插秧期	transplantation	112/07/31	112/08/08	9	1.08	50.58	5.62
			分蘗期	Tillering period	112/08/09	112/09/10	33	1.05	198.49	6.01
			幼穗形成期	Panicle initiation	112/09/11	112/09/17	7	0.81	35.76	5.11
			孕穗期	Booting stage	112/09/18	112/09/24	7	0.89	36.88	5.27
			抽穗期	Heading stage	112/09/25	112/10/02	8	1.06	52.37	6.55
			乳熟期	milk stage	112/10/03	112/10/22	20	1.18	90.33	4.52
			糊熟期	soft dough stage	112/10/23	112/11/12	21	0.89	79.69	3.79
			黃熟期	hard dough stage	112/11/13	112/11/19	7	0.88	17.08	2.44
			收穫 (完熟期)	Maturity period	112/11/20	112/11/20	1	0.64	2.89	2.89

桃園市新屋區										
期作別	**土壤質地**	**試驗面積(公頃)**	**生育期(中文)**	**生育期(英文)**	**起**	**迄**	**生育日數(日)**	**Kc 值**	**ETc**	**平均每日ETc(mm/day)**
1 期作	黏土	1	整地	land preparation	-	113/02/26	-	-	-	-
			插秧期	transplantation	113/02/29	113/03/17	15	0.62	35.65	2.38
			分蘗期	Tillering period	113/03/18	113/05/08	55	0.71	127.01	2.31
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/05/09	113/05/15	7	0.92	32.48	4.64
			孕穗期	Booting stage	113/05/16	113/05/29	10	0.66	24.46	2.45
			抽穗期	Heading stage	113/05/30	113/06/05	12	0.67	14.84	1.24
			乳熟期	milk stage	113/06/06	113/06/13	13	0.64	15.96	1.23
			糊熟期	soft dough stage	113/06/14	113/06/21	7	0.78	4.61	0.66
			黃熟期	hard dough stage	113/06/22	113/07/02	5	-	0.00	0.00
			收穫（完熟期)	Maturity period	113/07/03	113/07/03	1	-	0.00	0.00
2 期作	黏土	1	整地	land preparation	-	113/07/30	-	-	-	-
			插秧期	transplantation	113/08/1	113/08/20	20	-	0.00	0.00
			分蘗期	Tillering period	113/08/21	113/09/10	21	-	0.00	0.00
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/09/11	113/09/19	9	0.98	50.63	5.63
			孕穗期	Booting stage	113/09/20	113/09/29	10	0.93	30.52	3.05
			抽穗期	Heading stage	113/09/30	113/10/10	11	1.00	34.43	3.13
			乳熟期	milk stage	113/10/11	113/10/22	12	0.97	42.98	3.58
			糊熟期	soft dough stage	113/10/23	113/11/02	11	1.17	24.21	2.20
			黃熟期	hard dough stage	113/11/03	113/11/11	9	1.24	36.29	4.03
			收穫（完熟期)	Maturity period	113/11/12	113/11/12	1	1.02	2.57	2.57

附錄 2 – 間歇水稻

臺中市霧峰區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
111-2	黏質壤土	0.5	整地	Land preparation	111/07/11	111/07/20	9	-	-	-
			插秧期	Transplantation	111/07/24	111/08/01	8	0.70	36.74	4.59
			分蘗期	Tillering	111/08/02	111/09/04	33	0.88	151.36	4.59
			幼穗形成期	Panicle initiation	111/09/05	111/09/12	7	1.16	37.03	5.29
			孕穗期	Booting stage	111/09/13	111/09/19	6	1.09	35.54	5.92
			抽穗期	Heading stage	111/09/20	111/09/26	6	1.02	34.73	5.79
			乳熟期	Milk stage	111/09/27	111/10/05	8	0.94	38.85	4.86
			糊熟期	Soft dough stage	111/10/06	111/10/14	8	0.98	37.64	4.70
			黃熟期	Hard dough stage	111/10/15	111/10/19	4	0.99	17.42	4.36
			收穫（完熟期)	Maturity period	111/10/20	111/10/21	1	0.73	5.95	5.95
112-1	黏質壤土	0.5	整地	Land preparation	112/01/12	112/02/23	42	-	-	-
			插秧期	Transplantation	112/02/26	112/03/08	10	0.98	41.63	4.16
			分蘗期	Tillering	112/03/09	112/04/26	48	0.82	180.99	3.77
			幼穗形成期	Panicle initiation	112/04/27	112/05/03	6	1.16	42.79	7.13
			孕穗期	Booting stage	112/05/04	112/05/07	3	0.94	21.86	7.29
			抽穗期	Heading stage	112/05/08	112/05/14	6	0.84	28.22	4.70
			乳熟期	Milk stage	112/05/15	112/05/21	6	0.92	34.75	5.79
			糊熟期	Soft dough stage	112/05/22	112/05/28	6	0.90	33.22	5.54
			黃熟期	Hard dough stage	112/05/29	112/06/06	8	0.95	51.01	6.38
			收穫（完熟期)	Maturity period	112/06/07	112/06/08	1	0.63	7.35	7.35

臺中市霧峰區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
112-2	黏質壤土	0.5	整地	Land preparation	112/07/11	112/07/20	9	-	-	-
			插秧期	Transplantation	112/07/24	112/08/01	8	0.58	28.22	3.53
			分蘗期	Tillering	112/08/02	112/09/09	38	0.67	130.78	3.44
			幼穗形成期	Panicle initiation	112/09/10	112/09/14	4	0.86	21.29	5.32
			孕穗期	Booting stage	112/09/15	112/09/18	3	0.86	17.43	5.81
			抽穗期	Heading stage	112/09/19	112/09/24	5	0.80	23.97	4.79
			乳熟期	Milk stage	112/09/25	112/10/02	7	0.82	32.59	4.66
			糊熟期	Soft dough stage	112/10/03	112/10/11	8	0.88	35.33	4.42
			黃熟期	Hard dough stage	112/10/12	112/10/22	10	0.77	33.56	3.36
			收穫 (完熟期)	Maturity period	112/10/23	112/10/24	1	0.71	5.63	5.63
113-1	黏質壤土	0.5	整地	Land preparation	113/02/23	113/03/06	12	-	-	-
			插秧期	Transplantation	113/03/09	113/03/18	9	0.72	25.95	2.88
			分蘗期	Tillering	113/03/19	113/04/28	40	0.65	131.55	3.29
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/04/29	113/05/05	6	0.87	30.84	5.14
			孕穗期	Booting stage	113/05/06	113/05/12	6	0.80	31.59	5.27
			抽穗期	Heading stage	113/05/13	113/05/19	6	0.73	27.48	4.58
			乳熟期	Milk stage	113/05/20	113/05/24	4	0.47	11.43	2.86
			糊熟期	Soft dough stage	113/05/25	113/06/05	11	0.65	38.38	3.49
			黃熟期	Hard dough stage	113/06/06	113/06/16	10	0.71	39.83	3.98
			收穫 (完熟期)	Maturity period	113/06/17	113/06/18	1	0.78	4.81	4.81
113-2	黏質壤土	0.5	整地	Land preparation	-	-	0	-	-	-
			插秧期	Transplantation	113/07/23	113/07/31	8	0.97	36.56	4.57
			分蘗期	Tillering	113/08/01	113/09/04	34	0.76	138.26	4.07

臺中市霧峰區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/09/05	113/09/12	7	0.84	31.73	4.53
			孕穗期	Booting stage	113/09/13	113/09/23	10	0.86	43.38	4.34
			抽穗期	Heading stage	113/09/24	113/10/02	8	0.79	30.90	3.86
			乳熟期	Milk stage	113/10/03	113/10/09	6	0.92	26.62	4.44
			糊熟期	Soft dough stage	113/10/10	113/10/18	8	0.83	30.69	3.84
			黃熟期	Hard dough stage	113/10/19	113/10/27	8	0.72	24.95	3.12
			收穫（完熟期)	Maturity period	113/10/28	113/10/29	1	0.72	4.77	4.77

附錄 3－甘藷

嘉義市東區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
秋作(台農 57 號)	壤土	0.4	整地	-	-	-	-	-	-	-
			生育初期	-	111/10/13	111/10/27	15	0.44	22.65	1.51
			莖葉發育與塊根形成期	-	111/10/28	111/11/26	30	0.67	60.15	2.00
			塊根膨大期	-	111/11/27	112/01/25	60	0.84	120.15	2.00
			塊根成熟期	-	112/01/26	112/03/11	45	0.65	90.71	2.02
夏作(台農 66 號)	壤土	0.4	整地	-	-	-	-	-	-	-
			生育初期	-	112/05/04	112/05/18	15	0.52	36.06	2.40
			莖葉發育與塊根形成期	-	112/05/19	112/06/17	30	0.63	98.79	3.29
			塊根膨大期	-	112/06/18	112/08/01	45	0.76	198.01	4.40
			塊根成熟期	-	112/08/02	112/08/31	30	0.70	106.25	3.54
秋作(台農 57 號)	壤土	0.4	整地	-	-	-	-	-	-	-
			生育初期	-	112/10/18	112/11/01	15	0.61	32.82	2.19
			莖葉發育與塊根形成期	-	112/11/02	112/12/01	30	0.70	62.02	2.07
			塊根膨大期	-	112/12/02	113/01/30	60	0.78	110.05	1.83
			塊根成熟期	-	113/01/31	113/03/15	45	0.74	104.28	2.32

附錄 4－ 食用玉米

臺中市霧峰區										
期作別	**土壤質地**	**試驗面積(公頃)**	**生育期(中文)**	**生育期(英文)**	**起**	**迄**	**生育日數(日)**	**Kc 值**	**ETc**	**平均每日 ETc (mm/day)**
春作	砂質壤土	1.1	整地	land preparation	112/02/20	112/03/09	18	-	-	-
			生育初期	Initial stage	112/03/10	112/04/05	27	0.51	56.72	2.10
			生長期	development stage	112/04/06	112/05/03	28	0.78	106.30	3.80
			生育中期	Mid-season stage	112/05/04	112/05/22	19	0.84	83.35	4.39
秋作	砂質壤土	1.1	整地	land preparation	112/09/03	112/09/20	18	-	-	-
			生育初期	Initial stage	112/09/21	112/10/11	21	0.48	51.56	2.46
			生長期	development stage	112/10/12	112/11/05	25	0.63	77.21	3.09
			生育中期	Mid-season stage	112/11/06	112/11/29	24	0.64	71.13	2.96

附錄 5－ 硬質玉米

嘉義縣朴子市										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
秋作	坋質壤土	0.6	整地	land preparation	111/09/12	111/09/12	1	-	-	-
			生育初期	Initial stage	111/09/12	111/10/05	24	0.29	25.7	1.07
			生長期	development stage	111/10/06	111/11/07	33	0.51	41.6	1.26
			生育中期	Mid-season stage	111/11/08	112/01/15	69	0.54	100.0	1.45
			生育後期	late-season stage	112/01/16	112/02/17	33	0.25	28.6	0.87
春作	坋質壤土	0.6	整地	land preparation	112/03/15	112/03/15	1	-	-	-
			生育初期	Initial stage	112/03/15	112/04/16	33	0.25	26.7	0.81
			生長期	development stage	112/04/17	112/05/23	34	0.58	66.8	1.96
			生育中期	Mid-season stage	112/05/24	112/06/26	37	0.62	80.7	2.18
			生育後期	late-season stage	112/06/27	112/07/11	15	0.60	64.1	4.27
秋作	坋質壤土	0.6	整地	land preparation	112/10/12	112/10/12	1	-	-	-
			生育初期	Initial stage	112/10/12	112/10/28	16	0.32	10.9	0.68
			生長期	development stage	112/10/29	112/12/11	43	0.56	50.2	1.17
			生育中期	Mid-season stage	112/12/12	113/01/23	42	0.53	62.3	1.48
			生育後期	late-season stage	113/01/24	113/03/06	42	0.26	51.0	1.21

附錄 6– 大豆

屏東縣長治鄉								
年度	期作別	土壤質地	試驗面積 (公頃)	生育期 (中文)	生育期 (英文)	旬別	Kc 值	平均每日 ETc (mm/day)
111	春作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	02 中	0.50	1.52
				開花期	flowering stage	02 下	0.59	1.86
						03 上	0.77	3.08
						03 中	0.95	4.31
				籽粒充實期	seed filling stage	03 下	1.00	4.29
						04 上	1.00	4.15
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	04 中	0.95	4.56
						04 下	0.93	4.86
				種子成熟期	seed maturity stage	05 上	0.88	4.51
						05 中	0.85	3.83
						05 下	0.78	4.16
	秋作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	09 中	0.50	2.07
				開花期	flowering stage	09 下	0.50	2.27
						10 上	0.68	2.85
						10 中	0.95	3.58
				籽粒充實期	seed filling stage	10 下	1.05	3.48
						11 上	1.05	3.36
				綠莢成熟期 (毛豆)	edamame maturity stage	11 中	1.02	3.38
						11 下	0.99	3.07
				種子成熟期	seed maturity stage	12 上	0.95	2.72

屏東縣長治鄉								
年度	**期作別**	**土壤質地**	**試驗面積 (公頃)**	**生育期 (中文)**	**生育期 (英文)**	**旬別**	**Kc 值**	**平均每日 ETc (mm/day)**
						12 中	0.91	2.15
						12 下	0.87	2.22
112	春作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	2 上	0.50	1.67
				開花期	flowering stage	2 中	0.62	2.20
						2 下	0.82	2.89
						3 上	1.01	4.10
				籽粒充實期	seed filling stage	3 中	1.06	4.55
						3 下	1.06	5.17
				綠莢成熟期 (毛豆)	edamame maturity stage	4 上	1.06	5.10
						4 中	1.05	5.66
				種子成熟期	seed maturity stage	4 下	0.99	5.08
						5 上	0.92	5.09
						5 中	0.86	4.20
	秋作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	10 下	0.50	1.74
				開花期	flowering stage	11 上	0.51	1.80
						11 中	0.69	2.08
						11 下	0.93	2.73
				籽粒充實期	seed filling stage	12 上	1.00	2.81
						12 中	1.00	2.62
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	12 下	0.97	2.30
						1 上	0.94	2.32
				種子成熟期	seed maturity stage	1 中	0.91	2.64

屏東縣長治鄉								
年度	期作別	土壤質地	試驗面積 (公頃)	生育期 (中文)	生育期 (英文)	旬別	Kc 值	平均每日 ETc (mm/day)
						1 下	0.88	2.57
						2 上	0.85	2.77

附錄 7－ 毛豆

屏東市海豐								
年度	期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	旬別	Kc 值	平均每日 ETc (mm/day)
111	春作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	2 中	0.50	1.52
				開花期	flowering stage	2 下	0.59	1.86
						3 上	0.77	3.08
						3 中	0.95	4.31
				籽粒充實期	seed filling stage	3 下	1.00	4.29
						4 上	1.00	4.15
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	4 中	0.95	4.56
						4 下	0.88	4.86
	秋作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	9 中	0.50	2.07
				開花期	flowering stage	9 下	0.50	2.27
						10 上	0.68	2.85
						10 中	0.95	3.58
				籽粒充實期	seed filling stage	10 下	1.05	3.48
						11 上	1.05	3.36
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	11 中	1.02	3.38
						11 下	0.93	2.87
112	春作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	2 上	0.50	1.67
				開花期	flowering stage	2 中	0.62	2.20
						2 下	0.82	2.89

屏東市海豐								
年度	期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	旬別	Kc 值	平均每日 ETc (mm/day)
						3 上	1.01	4.10
				籽粒充實期	seed filling stage	3 中	1.06	4.55
						3 下	1.06	5.16
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	4 上	0.99	4.77
						4 中	0.89	4.77
	秋作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	10 下	0.50	1.74
				開花期	flowering stage	11 上	0.51	1.80
						11 中	0.69	2.08
						11 下	0.93	2.73
				籽粒充實期	seed filling stage	12 上	1.00	2.81
						12 中	1.00	2.62
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	12 下	0.90	2.19
113	春作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	2 下	0.50	1.85
				開花期	flowering stage	3 上	0.52	1.88
						3 中	0.70	3.03
						3 下	0.92	4.57
				籽粒充實期	seed filling stage	4 上	1.02	5.40
						4 中	1.02	5.67
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	4 下	1.00	4.89
						5 上	0.89	4.93
	秋作	砂質壤土	1	整地	land preparation	-	-	-
				幼苗期	seedling stage	10 下	0.50	1.71
				開花期	flowering stage	11 上	0.61	2.05

屏東市海豐								
年度	**期作別**	**土壤質地**	**試驗面積(公頃)**	**生育期(中文)**	**生育期(英文)**	**旬別**	**Kc 值**	**平均每日 ETc (mm/day)**
						11 中	0.86	2.29
						11 下	1.00	2.78
				籽粒充實期	seed filling stage	12 上	1.00	2.62
						12 中	0.97	2.33
				綠莢成熟期(毛豆)	edamame maturity stage	12 下	0.79	1.66

附錄 8 – 高粱

嘉義縣朴子市										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
1 期作	壤土	0.6	整地	land preparation	113/04/17	113/07/22	0	-	-	-
			成活期	-	113/04/17	113/04/19	3	0.24	5.40	1.80
			分蘗期	Tillering period	113/04/20	113/05/16	27	0.62	83.40	3.09
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/05/17	113/05/26	5	0.31	7.40	1.48
			孕穗期	Booting stage	113/05/27	113/05/31	5	0.37	8.04	1.61
			抽穗開花期	Heading stage	113/06/01	113/06/25	16	0.69	57.90	3.62
			乳熟期	milk stage	113/06/26	113/07/05	14	0.74	61.04	4.36
			糊熟期	soft dough stage	113/07/06	113/07/10	10	0.64	37.80	3.78
			黃熟期	hard dough stage	113/07/11	113/07/15	8	0.67	30.30	3.79
			收穫(完熟期)	Maturity period	113/07/16	113/07/22	9	0.40	18.60	2.07
2 期作	壤土	0.6	整地	land preparation	113/10/11	114/02/22	0	-	-	-
			成活期	-	113/10/11	113/10/13	3	0.32	6.35	2.12
			分蘗期	Tillering period	113/10/14	113/11/09	27	0.33	41.40	1.53
			幼穗形成期	Panicle initiation	113/11/10	113/11/19	5	0.53	6.39	1.28
			孕穗期	Booting stage	113/11/20	113/11/24	5	0.51	9.95	1.99
			抽穗開花期	Heading stage	113/11/25	113/12/24	19	0.76	35.80	1.88
			乳熟期	milk stage	113/12/25	114/01/09	21	0.71	35.30	1.68
			糊熟期	soft dough stage	114/01/10	114/01/21	17	0.80	33.25	1.96
			黃熟期	hard dough stage	114/01/22	114/02/04	20	0.73	40.08	2.00
			收穫(完熟期)	Maturity period	114/02/05	114/02/17	13	0.75	22.60	1.74

附錄 9－ 落花生

臺中市霧峰區										
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
春作	砂質壤土	1.1	整地	land preparation	113/02/03	113/02/21	18	-	-	-
			生育初期	Initial stage	113/02/22	113/03/19	27	0.43	45.20	1.67
			生長期	development stage	113/03/20	113/04/16	28	0.74	86.80	3.10
			生育中期	Mid-season stage	113/04/17	113/05/28	42	1.05	152.70	3.64
			生育後期	late stage	113/05/29	113/06/25	28	1.20	108.00	3.86
秋作	砂質壤土	1.1	整地	land preparation	113/08/10	113/08/27	18			-
			生育初期	Initial stage	113/08/28	113/09/10	14	0.73	45.37	3.24
			生長期	development stage	113/09/11	113/10/15	35	0.87	142.68	4.08
			生育中期	Mid-season stage	113/10/16	113/11/17	33	0.69	109.03	3.30
			生育後期	late stage	113/11/18	113/12/17	30	0.60	77.84	2.59

附錄 10－ 番石榴

高雄市岡山區													
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	試驗種植密度(棵/公頃)	行距(m)	列距(m)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
全年作	砂質壤土	0.8	520	3.5	5.5	-	-	111/11/01	111/11/30	30	0.42	47.41	1.58
						-	-	111/12/01	111/12/31	31	0.50	48.02	1.55
						-	-	112/01/01	112/01/31	31	0.50	49.88	1.61
						-	-	112/02/01	112/02/28	28	0.45	50.07	1.79
						-	-	112/03/01	112/03/31	31	0.45	67.94	2.19
						-	-	112/04/01	112/04/30	30	0.42	72.97	2.43
						-	-	112/05/01	112/05/31	31	0.43	80.89	2.61
						-	-	112/06/01	112/06/30	30	0.49	94.72	3.16
						-	-	112/07/01	112/07/31	31	0.55	93.75	3.61
						-	-	112/08/01	112/08/31	31	0.54	99.94	3.22
						-	-	112/09/01	112/09/30	30	0.59	96.11	3.20
						-	-	112/10/01	112/10/31	31	0.56	81.00	2.61
						-	-	112/11/01	112/11/30	30	0.53	60.42	2.01
						-	-	112/12/01	112/12/31	31	0.51	47.5	1.53
全年作	砂質壤土	0.8	520	3.5	5.5	-	-	113/01/01	113/01/31	31	0.47	46.85	1.51
						-	-	113/02/01	113/02/29	29	0.55	61.10	2.11
						-	-	113/03/01	113/03/31	31	0.41	63.44	2.05
						-	-	113/04/01	113/04/30	30	0.38	65.99	2.20
						-	-	113/05/01	113/05/31	31	0.41	79.08	2.55
						-	-	113/06/01	113/06/30	30	0.59	115.28	3.84

高雄市岡山區													
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	試驗種植密度(棵/公頃)	行距(m)	列距(m)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
						-	-	113/07/01	113/07/31	31	0.56	111.55	3.60
						-	-	113/08/01	113/08/31	31	0.51	86.78	3.10
						-	-	113/09/01	113/09/30	30	0.60	100.73	3.36
						-	-	113/10/01	113/10/31	31	0.58	80.86	2.61
						-	-	113/11/01	113/11/30	30	0.56	62.00	2.07
						-	-	113/12/01	113/12/31	31	0.48	46.10	1.49

附錄 11 – 柑橘

苗栗縣卓蘭鎮													
期作別	土壤質地	試驗面積(公頃)	試驗種植密度(棵/公頃)	行距(m)	列距(m)	生育期(中文)	生育期(英文)	起	迄	生育日數(日)	Kc 值	ETc	平均每日 ETc (mm/day)
全期作	壤土	0.4	360	5.4	4.5	春梢萌發與開花期	-	112/02/20	112/03/31	40	0.6	74.48	1.86
						結果期與生理落果期	-	112/04/01	112/04/29	29	1.0	59.54	2.05
						果實發育肥大期	-	112/04/30	112/10/13	167	1.0	396.62	2.37
						果實轉色期	-	112/10/14	112/11/30	48	1.0	64.78	1.35
						果實成熟與採收期	-	112/12/01	113/02/19	81	0.4	86.24	1.06
						春梢萌發與開花期	-	113/03/01	113/03/30	29	0.6	46	1.59
						結果期與生理落果期	-	113/03/31	113/04/19	19	1.3	70	3.68
						果實發育肥大期	-	113/04/20	113/10/26	189	0.75	981	5.19
						果實轉色期	-	113/10/27	113/12/11	45	0.6	79	1.76
						果實成熟與採收期	-	113/12/12	114/02/28	78	0.3	95	1.22

附錄 12 – 茶

南投縣魚池鄉													
期作別	**土壤質地**	**試驗面積(公頃)**	**試驗種植密度(棵/公頃)**	**行距(m)**	**列距(m)**	**生育期(中文)**	**生育期(英文)**	**起**	**迄**	**生育日數(日)**	**Kc 值**	**ETc**	**平均每日 ETc (mm/day)**
休眠期	坋質黏壤土	1	12,000	1.5	0.5	休眠期	-	112/01/01	112/02/03	34	0.3	33.36	0.98
春茶						春茶	-	112/02/04	112/05/05	91	0.4	98.46	1.08
夏茶						夏茶	-	112/05/06	112/08/07	94	0.6	215.72	2.29
秋茶						秋茶	-	112/08/08	112/11/07	92	0.6	168.01	1.83
冬茶						冬茶	-	112/11/08	112/12/31	54	0.4	60.54	1.12

桃園市楊梅區													
期作別	**土壤質地**	**試驗面積(公頃)**	**試驗種植密度(棵/公頃)**	**行距(m)**	**列距(m)**	**生育期(中文)**	**生育期(英文)**	**起**	**迄**	**生育日數(日)**	**Kc 值**	**ETc**	**平均每日 ETc (mm/day)**
休眠期	坋質黏壤土	0.05	12,000	1.8	0.5	休眠期	-	113/01/01	113/02/03	34	0.4	38.73	1.14
春茶						春茶	-	113/02/04	113/05/04	91	0.4	133.98	1.47
夏茶						夏茶	-	113/05/05	113/08/06	94	0.4	217.68	2.32
秋茶						秋茶	-	113/08/07	113/11/06	92	0.4	199.56	2.17
冬茶						冬茶	-	113/11/07	113/12/31	55	0.4	61.08	1.11

參考文獻

甘俊二、陳清田、陳焜耀。1996。「臺灣地區作物需水量推估模式之合適性研究」，農業工程學報，42 (2)：8–19 頁。

申雍。2002。田間蒸發散量之估測與應用。農業氣象及農業水資源之應用與管理研討會專刊。85–96 頁。

向為民、吳宗諺。2004。農田土壤水分管理。花蓮區土壤特性及合理化施肥研討會專刊。64–68 頁。

向為民、唐佳惠。2021。柑橘節水灌溉。110 年「乾旱對農業生產影響因應」節水技術與措施柑橘場次講習。

庄晚芳。1984。第五章茶園生態條件。茶樹栽培學。119–120 頁。

張明聰、呂俊堅。1995。土壤含水量對芒果生育、產量及品質之影響.臺南區農業改良場研究彙報 32 期：45–55 頁。

黃瑞彰、張耀聰。2019。第四章芒果-南部地區芒果園土壤性質與施肥推薦與參考資訊。187–208 頁。刊於：黃維廷、陳柱中編輯. 黃維廷、李艷琪、郭鴻裕總編輯。農業試驗所特刊 221 號-作物土壤管理與施肥技術-果樹與茶作篇。農業試驗所。臺中。

黃維廷、陳柱中。2019。中部縣市土壤性質與柑桔施肥推薦參考資訊。作物土壤管理與施肥技術推廣專書-果樹與茶作篇。17–51 頁。

盧柏松、江淑雯、林永順、曾得洲、黃政龍、張繼中、黃德昌、許育慈、謝進來。2010。番荔枝生產管理手冊。農業部臺東區農業改良場編印。1–4 頁。

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. *FAO*, Rome, Italy.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T. A., & Jensen, M. E. (2011) Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98 (6), 899–920.

Bery A. A. and Ismail N. E. H. (2018) Empirical correlation between electrical resistivity and engineering properties of soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54, 425–429.

Burba, G. (2022) Eddy covariance method for scientific, regulatory, and commercial applications. LI-COR Biosciences.

Jensen, M. E. (1968) *Water consumption by agricultural plants* (Chapter 1).

Kurtuluşa C., Yekena T., Durdağa D. (2019) Estimating the soil water content using electrical conductivity, oven method and speedy moisture tester. *Eurasian Soil Science*, 52, 1577–1582.

Luo, Z., Guan, H., Zhang, X. (2019) The temperature effect and correction models for using electrical resistivity to estimate wood moisture variations. *Journal of Hydrology*, 578, 124022.

Mazác, O., Kelly, W. E, Landa, I. (1985) A hydrogeophysical model for relations between electrical and hydraulic properties of aquifers. *Journal of Hydrology*, 79, 1–19.

Rieder, J.S., Kneisel, C. (2023) Monitoring spatiotemporal soil moisture variability in the unsaturated zone of a mixed forest using electrical resistivity tomography. *Vadose Zone Journal*, 22, 20251.

Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G. (2005) Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*, 83, 173–193.

Senay, G. B., Friedrichs, M., Singh, R. K. and Velpuri, N. M. (2016) Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sensing of Environment*. 185. 171–185.

Upadhyaya, H., Panda, S.K., Dutta, B.K. (2008) Variation of physiological and antioxidative responses in tea cultivars subjected to elevated water stress followed by rehydration recovery. *Acta Physiol Plant* 30:457–468.

Vanella, D., Ramírez-Cuesta, J.M., Sacco, A., Longo-Minnolo, G., Cirelli, G.L., Consoli, S. (2021) Electrical resistivity imaging for monitoring soil water motion patterns under different drip irrigation scenarios. *Irrigation Science*, 39, 145–157.

Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X. and Masek, J. G. 2010. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions. *Remote Sensing of Environment*. 114 (11). 2610–2623.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

作物灌溉指引手冊/王維晨, 李欣叡, 林詠洲, 侯惠盈, 侯雅玲, 高碧霜, 張翊庭, 許健輝, 黃哲倫, 劉滄棽, 蔡璿如, 蔡耀賢, 鄭智允, 蔡正賢, 廖崇億, 錢昌聖, 石佩玉, 張庭禎, 楊智哲, 謝禮臣, 朱堉君, 周國隆, 劉啟祥, 李子易, 廖勁穎, 陳忠偉, 張倚瓏, 張勝智, 蔡秉芸, 林香君, 方士倫, 吳東鴻, 郭寶錚, 林忠逸作. -- 初版. -- 臺中市 : 農業部農業試驗所, 民 115.01

面 ;　公分 -- (農業試驗所特刊 ; 第 253 號)

ISBN 978-626-446-025-5(平裝)

1.CST: 農作物 2.CST: 灌溉 3.CST: 栽培

434.2571　　115000947

編　　號：農試所出版品 2026 年 – 01 號

書　　名：作物灌溉指引手冊

發 行 人：王仕賢

主　　編：侯雅玲、李長沛、王仕賢

作　　者：農業部農業試驗所 (王維晨、李欣叡、林詠洲、侯惠盈、侯雅玲、高碧霜、張翊庭、許健輝、黃哲倫、劉滄棽、蔡璿如、蔡耀賢)；農業部桃園區農業改良場 (鄭智允)；農業部苗栗區農業改良場 (蔡正賢)；農業部臺中區農業改良場 (廖崇億、錢昌聖)；農業部臺南區農業改良場 (石佩玉、張庭禎、楊智哲、謝禮臣)；農業部高雄區農業改良場 (朱堉君、周國隆)；農業部花蓮區農業改良場 (劉啟祥)；農業部臺東區農業改良場 (李子易、廖勁穎)；農業部茶及飲料作物改良場 (陳忠偉)；農業部種苗改良繁殖場 (張倚瓏、張勝智、蔡秉芸)；國立臺灣大學 (林香君) ；國立中興大學 (方士倫、吳東鴻、郭寶錚)；財團法人台灣香蕉研究所 (林忠逸)　(依姓氏筆畫排序)

審　　稿：呂秀英、王毓華、郭鴻裕、劉滄棽、李長沛、李元喻、王歆涵

彙編團隊：台灣水資源與農業研究院 (王鵬瑞、林冠妤、余品臻、陳詩旻)

美術設計：台灣水資源與農業研究院 (邵仲毅、王瀞慧、余品臻、陳詩旻)

出版機關：農業部農業試驗所

地　　址：臺中市霧峰區萬豐里中正路 189 號

網　　址：https://www.tari.gov.tw/

電　　話：(04) 2330-2301

出版年月：115 年 1 月

版　　次：初版

定　　價：非賣品

承 印 者：美印創意輸出影印店

展售門市：1.國家書店/104 臺北市松江路 209 號 1 樓 (02) 2518-0207
國家網路書店 http://www.govbooks.com.tw
2.五南文化廣場/400 臺中市中山路 6 號 (04) 2226-0330

ISBN：978-626-446-025-5

GPN：1011500147

版權所有、轉載須經本所同意